

6^oSSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

ANAIS

- VOLUME 4 -
Sustentabilidade

Organizadores

Prof. Dr. Cristiano Poletto – UFRGS (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Cristhiane Michiko Passos Okawa – UEM

Prof. Dr. Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves – UFTM

ANAIS do 6º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS

- VOLUME 4 -
Sustentabilidade

Copyright © 2021, by Editora GFM.

Direitos Reservados em 2021 por **Editora GFM.**

Editoração: Cristiano Poletto

Organização Geral da Obra: Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves

Diagramação: Juliane Fagotti

Revisão Geral: Espaço Histórico e Ambiental

Capa: Juliane Fagotti

CIP-Brasil. Catalogação na Fonte

Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves (Organizadores)

ANAIS do 6º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS – Volume 4 – Sustentabilidade / Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves (Organizadores) – Toledo, PR: Editora GFM, 2021.

562p.: il.;

ISBN 978-65-87570-14-3

CDU 502.3/.7

É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.

Comissão Organizadora

Prof. Dr. Cristiano Poletto – UFRGS (Presidente)
Prof.^a Dr.^a Cristhiane Michiko Passos Okawa – UEM
Prof. Dr. Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves – UFTM

Comissão Científica

Dr. Afonso Augusto Magalhães de Araujo - UFRJ	Dr. Helder Rafael Nocko - EnvEx Engenharia e Consultoria
Dr. Álvaro José Back - UNESC	Dr. Ismael Medeiros - UNISUL
Dr. ^a Amanda Gonçalves Kieling - UNISINOS	Dr. Jair Juarez João - UNISUL
Dr. Andre Luiz Andrade Simões - UFBA	Dr. Joel Dias da Silva - FURB
Dr. André Luis Sotero Salustiano Martim - UNICAMP	Dr. José Carlos Araújo - UFC
Dr. ^a Andrezza Marques Ferreira - CEMADEN	Dr. José Gilberto Dalfré Filho - UNICAMP
Dr. Antonio Carlos Zuffo - UNICAMP	Dr. José Luiz Miotto - UEM
Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes - UNISINOS	Dr. ^a Josiane Teresinha Cardoso - UDESC
Dr. ^a Cássia Maria Bonifácio - UFSCar	Dr. Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves - UFTM
Dr. ^a Cíntia Soares - UFSC	Dr. Lucio Flavio Ferreira Moreira - UFRN
Dr. ^a Cláudia Telles Benatti - UEM	Dr. Luis Eduardo A. S. Suzuki - UFPel
Dr. ^a Cristiane Kreutz - UTFPR	Dr. Marcelo Giovanela - UCS
Dr. ^a Cristhiane Michiko Passos Okawa - UEM	Dr. ^a Maria de los Angeles Perez Lizama - UNICESUMAR
Dr. Cristiano Poletto - UFRGS	Dr. ^a Maria Cristina de Almeida Silva - UFRGS
Dr. Deusmaque Carneiro Ferreira - UFTM	Dr. Mário Sérgio da Luz - UFTM
Dr. Diego de Souza Sardinha - UNIFAL	Dr. ^a Maristela Denise Moresco Mezzomo - UTFPR
Dr. ^a Elizabete Yukiko Nakanishi B. - UFPR	Dr. Mauricio Vicente Alves - UNOESC
Dr. Everton Skoronski - UDESC	Dr. Michael Mannich - UFPR
Dr. Eudes José Arantes - UTFPR	Dr. Pedro Cunha - Agência Nacional de Águas
Dr. Felipe Fernandes - Grupo Construserv	Dr. Renato Billia de Miranda - USP
Dr. Fernando Mainardi Fan - UFRGS	Dr. ^a Rubia Flores Romani - UFPel
Dr. Fernando Oliveira de Andrade - UTFPR	Dr. Salatiel Wohlmuth da Silva - UFRGS
Dr. Fernando Periotto - UFSCar	Dr. ^a Simone Andrea Furegatti - UNESP
Dr. Fernando Pruski - UFV	Dr. ^a Simone Ramires - UFRGS
Dr. Francisco Lledo dos Santos - UNEMAT	Dr. Valdeci José Costa - UDESC
Dr. Geraldo de Freitas Maciel - UNESP	Dr. ^a Viviane Trevisan - UDESC
Dr. Gerson Salviano Almeida Filho - IPT	Dr. Yuri Jacques A. B. da Silva - UFPI
Dr. Giovanni Chaves Penner - UFPA	Dr. Walszon Terllizzie Araújo Lopes - Agência Nacional de Águas
Dr. Guilherme Barbosa Lopes Junior - UFPE	
Dr. Guilherme Fernandes Marques - UFRGS	

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO



APOIO



| Sumário |

Monitoramento De Sistemas Fotovoltaicos Utilizando Diferentes Base De Dados De Radiação Solar E Temperatura.....	10
Estudo Da Viabilidade Para Implantação De Sistema Solar Fotovoltaico Em Todos Os Empreendimentos Habitacionais De Interesse Social Do Município De Macaé-Rj	26
Análise Econômica E Ambiental Da Substituição De Ônibus De Combustão Interna Por Elétrico Em Uma Linha De Ônibus Do Transporte Público De Porto Alegre	40
Study Of The Temporal Variation Of Offshore Wind Energy Potential In Southeast Brazil	59
Aplicação De Acelerador De Compostagem E Inóculo Alóctone Na Produção De Biometano A Partir De Dejeito Suíno	73
Dimensionamento De Barreiras Acústicas Integradas A Sistema Solar Fotovoltaico Para A Ferrovia Em Santa Maria-Rs	81
Uma Revisão Bibliométrica Sobre Extração E Aplicações De Bio-Óleos.....	98
Desafios Para A Gestão De Energia Pública No Brasil: Geração De Energia Solar Fotovoltaica	110
Telhado Verde: Desde Tempos Antigos Contribuindo Com A Sustentabilidade	126
Pavimentos Permeáveis: Uma Alternativa Sustentável Para A Redução Do Desequilíbrio Hídrico Nas Cidades.....	142
Jardim De Chuva: Uma Revisão De Pesquisas Desenvolvidas No Brasil.....	155
Uso De Filtro De Carvão Ativado Em Poço De Infiltração Para Retenção De Contaminantes Metálicos Presentes No Ambiente Urbano	175
O Uso De Bactérias Para Biorremediação De Ambientes Contaminados Com Tolueno: Uma Análise Molecular Por <i>Docking</i>	193
Proposta De Indicador De Qualidade Ambiental Integrado Para Áreas De Preservação Permanente Em Recuperação Pós-Mineração Na Bacia Carbonífera De Santa Catarina.....	203
Tecnologias De Remediação/Recuperação De Ambientes Aquáticos Continentais Eutrofizados: Uma Revisão Bibliométrica E Bibliográfica Da Literatura	221
Comparação De Custos De Uma Estrutura Em Concreto Armado Com Sistema De Vedação: Bloco Cerâmico X Bloco De Concreto Celular Autoclavado	236
A Influência Dos Serviços Básicos, De Acesso A Água Tratada E Esgotamento Sanitário, Na Qualidade De Vida E No Desempenho Do Trabalhador.....	248
Tecnologia Verde: Ácido Tânico Como Inibidor De Corrosão Para O Aço Carbono.....	265

A Inserção Dos Conceitos De Degradação Ambiental, Zoonoses E Saúde Através Da Literatura Infantil.....	277
Educação Ambiental E O Meio Ambiente Urbano Em Teodoro Sampaio - Sp.....	289
Análise Do Banco De Germoplasma Vegetal Do Ifam: Morfometria De Sementes E Crescimento Inicial De Plântulas De Cacau (<i>Theobroma Cacao</i> L.)	303
Plano Nacional De Resíduos Sólidos Urbanos (Pnrsu) E A Sua Relação Com Os Objetivos De Desenvolvimento Sustentável (Ods)	320
Extração De Compostos Aromáticos Da Casca De Banana Prata (<i>Musa Sapientum</i>): Abordagem Qualitativa E Sensorial	338
Evolução Da Destinação E Reciclagem De Pneus Inservíveis No Brasil	352
Trote Pelo Amanhã: O Sistema Que Trará Um Reaproveitamento De Resíduos Em Universidades.	367
Avaliação Da Viabilidade De Projetos Com Utilização Do Cap Ecoflex B Em Relação Ao Asfalto Convencional.....	383
Evaluation Of The Potential Of The Use Of Construction And Demolition Waste (Cdw) In The Production Of Soils For The Recovery Of Degraded Areas By Mining	396
I Semana Lixo Zero Passo Fundo/Rs: Aprendizados E Perspectivas.....	410
Influência Do Tipo De Lignina Na Caracterização De Compósitos Poliméricos Com Fibra Natural	422
Papel Dos Catadores De Resíduos Na Lixeira Municipal De Moçâmedes	434
Fabricação De Não tecido Com Emprego De Resíduos Sólidos De Confeção	446
Reciclagem De Resíduos Da Cadeia Do Arroz: Incorporação De Casca E Cinza Da Casca Em Compósitos Poliméricos.....	459
Valorização Do Resíduo Florestal Do Eucalipto Através De Processamento Termoquímico Para A Produção De Bioadsorvente De Baixo Custo	473
Extração Do Inibidor Furfural A Partir Do Hidrolisado De Biomassa Da Casca Do Arroz	491
Caracterização Do Resíduo De Malte <i>In Natura</i> De Uma Microcervejaria E Seu Uso Potencial Como Adsorvente Na Remoção De Vermelho Reativo 120 De Solução Aquosa.....	504
Reciclagem Interna De Resíduos De Borracha Siliconada, Pré-Vulcanizados Em Indústria De Borracha: Avaliação Econômica E Ambiental.....	519
Atributos De Composto Orgânico Produzido Pela Compostagem De Bagaço De Malte E Restos De Capina.....	532
Produção Mais Limpa Aplicada Em Salão De Beleza	545

6^o SSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

- PARTE I -

Energias Renováveis

MONITORAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO DIFERENTES BASE DE DADOS DE RADIÇÃO SOLAR E TEMPERATURA

| ID 18810 |

1 Guinther Agliardi, 2 Ellen David Chepp, 3 Fabiano Perin Gasparin

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: agliardiguinther@gmail.com; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: ellen.chepp@gmail.com; 3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: gasparin.fabiano@gmail.com

Palavras-chave: Fotovoltaico; Monitoramento; Base de dados.

Resumo

À medida que a demanda por energia elétrica cresce em escala global, as fontes primárias de geração como os combustíveis fósseis estão se esgotando gradualmente e a migração para fontes sustentáveis é uma realidade que se consolida cada vez mais. Dentro do mercado de geração distribuída de energia elétrica, os sistemas fotovoltaicos estão surgindo como uma alternativa promissora às principais fontes de energia para gerar eletricidade através de uma fonte renovável e sustentável. Monitorar corretamente um sistema fotovoltaico ao longo do tempo de operação garante o seu bom desempenho e funcionamento, e para isso, normalmente seria necessária uma medição no local da instalação que avalie a radiação solar disponível para verificar se o sistema está produzindo a energia esperada. Sabendo da importância do monitoramento de sistemas fotovoltaicos e da dificuldade na medição de radiação solar em cada instalação fotovoltaica de geração distribuída, os bancos de dados de estações solarimétricas públicas são uma alternativa que possibilita as análises de desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Entretanto, ainda não são amplamente conhecidas as diferenças entre os resultados simulados utilizando esses bancos de dados e os obtidos por medições no mesmo local do sistema fotovoltaico, que seria o caso ideal sob o ponto de vista técnico. Entretanto, o custo para realizar o monitoramento da performance desses sistemas individualmente com medições no local muitas vezes se mostra inviável economicamente, pois os sistemas de geração distribuída costumam ser de pequeno porte. As componentes da radiação solar que incidem em uma superfície inclinada, isto é, radiação direta, difusa e refletida pelo solo, podem ser obtidas por modelos, uma vez que normalmente as estações meteorológicas somente medem a radiação solar global horizontal. As componentes podem ser utilizadas para calcular a

radiação solar incidente em planos inclinados e também como parâmetros de entrada na simulação de desempenho do sistema. O objetivo deste estudo foi verificar a viabilidade do monitoramento de desempenho de um sistema fotovoltaico de 2,5 kWp localizado na cidade de Porto Alegre - Brasil fazendo uso da ferramenta de modelagem System Advisor Model (SAM-NREL) e de dados locais de radiação solar global. Foram comparados os resultados obtidos por simulação utilizando um banco de dados público de radiação solar global horizontal, radiação solar extraterrestre horizontal e temperatura ambiente com aqueles obtidos com dados medidos por instrumentos diretamente instalados no local do sistema fotovoltaico. Valores de radiação solar global no plano horizontal (I) e temperatura ambiente (T_{AMB}) em intervalos de uma hora foram fornecidos pela estação automática A-801 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O SOLPOS-NREL forneceu dados de radiação solar global horizontal extraterrestre I_0 e ângulo de zênite (θ_z) também em escala horária. Um modelo empírico da literatura foi utilizado para correlacionar os valores da fração de radiação difusa (I_d/I) e o índice de claridade (k_T). Utilizando o software SAM para realizar as simulações de desempenho, os arquivos climáticos e as características técnicas do sistema fotovoltaico foram inseridos como dados de entrada. Foram verificadas diferenças entre a radiação solar medida no local e a do banco de dados do INMET, sendo que a diferença na radiação acumulada foi de 9,2 % para todo o período analisado. Ao comparar a energia em corrente alternada medida e a simulada utilizando os dados de radiação e temperatura medidos no local para o horário sem sombreamento, verificou-se que a diferença entre os resultados foi de 0,5 %. Com o uso do arquivo climático gerado pelos dados do INMET, as diferenças mensais variaram em torno de -6 % a 14 % e a diferença em energia acumulada para todo o período de medição foi de 2,5 %. Os resultados mostraram que o uso de uma base de dados medidos por uma estação solarimétrica pública próxima ao local, no caso distante aproximadamente 6 km da instalação, é viável para o monitoramento de sistemas fotovoltaicos, uma vez que as diferenças encontradas não foram significativas. Desta maneira, é possível estabelecer um serviço remoto de monitoramento de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída sem a necessidade de medição local da radiação. Este monitoramento pode identificar falhas no sistema, perda de desempenho ao longo do tempo e auxiliar na decisão de efetuar a limpeza dos módulos fotovoltaicos.

Introdução

Atualmente, a crescente demanda por energia elétrica e a procura pela redução do uso de combustíveis fósseis na sua geração vêm acarretando uma grande mudança no setor elétrico mundial. O uso das fontes convencionais para geração de energia, como petróleo, gás natural e carvão

mineral, que tendem à escassez, acarreta na emissão de gases poluentes que agravam o efeito estufa. Portanto, a busca por fontes alternativas e renováveis de energia como a solar fotovoltaica vem aumentando e os estudos sobre essas tecnologias estão se tornando cada vez mais importantes (EPE, 2018).

A energia gerada por um sistema fotovoltaico varia de acordo com diversos parâmetros como a radiação solar (energia solar por unidade de área) e a temperatura ambiente (Camargo Francisco et al., 2019). Dessa forma, a medição precisa destes dados próxima ao local de instalação do sistema é de extrema importância para obter uma previsão mais assertiva do desempenho de projetos fotovoltaicos e ter a garantia do retorno do investimento inicial (Murat Ates e Singh, 2021).

As medições de radiação solar ainda são muito escassas dependendo da localidade e da escala temporal de medição. A radiação solar global que chega à superfície da terra é constituída de duas componentes: direta e difusa. A radiação direta é a parcela da radiação solar que chega diretamente (sem sofrer desvio) do disco solar na superfície do solo, e a radiação difusa é a parcela de radiação solar que sofreu espalhamento na atmosfera. Para avaliar com maior exatidão o recurso solar disponível em uma superfície inclinada, como um módulo fotovoltaico, é de extrema importância dispor de dados medidos com boa precisão dessas duas componentes. Estas informações podem ser medidas por meio de estações solarimétricas com equipamentos como o piranômetro e o pireliômetro. Entretanto, o alto custo de instalação e manutenção operacional desses equipamentos para cada unidade individual de geração distribuída pode tornar este processo praticamente inviável economicamente (Scolar, Martins e Escobedo, 2003). A maioria dos bancos de dados meteorológicos disponíveis atualmente não apresenta as medições dessas componentes, dispondo apenas de valores de radiação solar global na superfície horizontal, o que inviabiliza o estudo da sazonalidade, e pode gerar incertezas nas estimativas de incidência de radiação solar em uma superfície inclinada (de Souza et al., 2010).

Diversos modelos empíricos foram desenvolvidos buscando decompor a componente global de radiação solar horizontal e estimar os valores de radiação difusa e direta incidente em uma superfície horizontal. Com base em dados de medição em diferentes localidades, Liu e Jordan (1960) apresentaram relações entre a componente global e a difusa da radiação solar em escala diária para dias de céu limpo e para diferentes graus de nebulosidade. Orgill e Hollands (1977) e; Erbs, Klein, e Duffie (1982) apresentaram a relação entre a fração de radiação difusa solar horária e o índice de claridade horário (k_T). Reindl, Beckman e Duffie (1990) acrescentaram a esses estudos a influência de variáveis como elevação solar, temperatura ambiente e umidade relativa na determinação da fração difusa horária e apontou uma significativa redução dos erros associados a estudos anteriores. Batlles et al. (2000) verificaram que para dias de céu nublado e ângulos de elevação solar mais altos,

pode-se estimar valores de radiação direta com erros próximos a 14% em relação à média dos valores medidos utilizando modelagem empírica. Essas informações são extremamente úteis para a simulação da eficiência energética de sistemas fotovoltaicos, sendo uma alternativa menos custosa em relação aos dados medidos *in loco*. O número de sistemas fotovoltaicos instalados vem aumentando gradativamente e por consequência, também aumentaram os estudos de viabilidade técnica e econômica para diferentes tipos de sistemas (Haffaf et al., 2021). Kazem et al. (2014) estudaram por seis meses a viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico instalado em Omã, utilizando uma base horária de dados medidos de radiação solar e temperatura ambiente. Dimas, Gilan e Aris (2011) relataram que resultados de previsão de desempenho de sistemas fotovoltaicos tendo como referência dados horários de radiação solar apresentam maior confiabilidade do que quando dados em escala diária ou mensal são utilizados.

Tendo em vista a importância do monitoramento de sistemas fotovoltaicos e a dificuldade de medição de dados de radiação solar e temperatura ambiente no local da instalação, bancos de dados de medições de estações solarimétricas são uma alternativa que possibilita as análises de desempenho destes sistemas. Okello et al. (2015) encontraram uma diferença de 3% nos resultados de performance de um sistema fotovoltaico de 3,2 kWp com simulações realizadas no software PVSystem, utilizando dados medidos e dados meteorológicos do Meteonorm na África do Sul. No Suriname, Raghoebarsing e Kalpoe (2017) monitoraram um sistema fotovoltaico de 27 kWp conectado à rede. Os resultados apontaram uma diferença de 6% entre os dados medidos e simulados.

Neste contexto, a análise dos resultados do monitoramento realizado utilizando bases de dados é imprescindível. O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade do monitoramento de desempenho de um sistema fotovoltaico através de um banco de dados horários de radiação solar global horizontal medido por uma estação solarimétrica com dados públicos e na mesma cidade do sistema fotovoltaico. A potência em corrente alternada (CA) na saída de um sistema fotovoltaico instalado foi monitorada. As medições da potência em corrente alternada do sistema foram comparadas aos resultados de simulações feitas pelo software System Advisor Model (SAM) com duas bases de dados de entrada: 1) utilizando dados de radiação global horizontal, radiação difusa horizontal e temperatura ambiente medidos no local e 2) um banco de dados medidos por uma estação solarimétrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Material e Métodos

Nesta seção é abordada a metodologia utilizada para realizar o estudo. Na primeira parte é apresentada uma breve descrição das características do sistema fotovoltaico do laboratório utilizado como objeto de estudo. Na segunda, foram descritos os equipamentos de medição e a aquisição de dados no local de instalação. Na sequência, o uso dos bancos de dados do INMET e NREL, disponíveis publicamente, e o conseqüente tratamento destes dados foi explicado. Por último, foi abordado o uso da ferramenta de modelagem SAM para obtenção dos resultados de energia gerada pelo sistema fotovoltaico através de uma simulação.

Sistema Fotovoltaico

O sistema fotovoltaico utilizado como base para o estudo está instalado em Porto Alegre (30°S'51°W) no telhado do Laboratório de Energia Solar (LABSOL - UFRGS), localizado no campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Para captar a radiação solar incidente, o sistema conta com 10 módulos fotovoltaicos de 60 células de silício policristalino (Yingli YL245P-29b). Os módulos possuem 15,1% de eficiência nominal, 245Wp de potência e são conectados em série, totalizando uma potência nominal de 2,45 kWp. Os módulos estão orientados para o norte geográfico com uma inclinação de 50° em relação à horizontal conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1: Sistema fotovoltaico instalado no Laboratório de Energia Solar em Porto Alegre (UFRGS).

Devido às características da edificação, a inclinação dos módulos não é a ideal para o maior aproveitamento de produção energética na coordenada geográfica do local, que seria 30°. Outro

aspecto que pode ser visualizado na Figura 1 é a presença de sombreamento, que deve ser evitado em sistemas fotovoltaicos. No caso específico, o sistema é de uso acadêmico e o sombreamento é de certo modo proposital e permite análise dos impactos do sombreamento no desempenho do sistema, tema que não será abordado neste trabalho. Vale ressaltar que, durante o período de monitoramento e manutenção, os módulos não tiveram limpeza. Um inversor de 2500W (Sunny Boy SB2500) e de 93% de eficiência nominal foi instalado para realizar a conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) e a conexão com a rede de fornecimento de energia elétrica da distribuidora. As especificações técnicas dos módulos em condições de teste padrão (STC) e do inversor utilizados estão descritas na tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Características técnicas do módulo Yingli (YL245P-29b).

Módulo Fotovoltaico		
Potência de saída (P_{MAX})	245	W
Tolerância (ΔP_{MAX})	0/+5	W
Eficiência do módulo (η_M)	15,1	%
Tensão em Pmax (V_{MPP})	29,6	V
Corrente em Pmax (I_{MPP})	8,28	A
Tensão em circuito aberto (V_{OC})	37,5	V
Corrente de curto-circuito (I_{SC})	8,83	A

Tabela 2: Características técnicas do inversor de frequência Sunny Boy SB2500.

Inversor de Frequência		
Potência CA nominal (P_{CAnom})	2300	W
Intervalo de tensão do seguidor do ponto de máxima potência (ΔV_{MPPT})	224 - 480	V
Máxima corrente CC (I_{CCmax})	12,5	A
Frequência da rede (f_{NOM})	50/60	Hz
Eficiência do inversor (η_{INV})	93,2	%
Corrente CA nominal (I_{NOM})	10	A
Fator de potência ($\cos\phi$)		

Dados medidos no local de instalação

Para este estudo foram utilizados dois piranômetros para medição da radiação solar no local do sistema: um para medir a irradiância solar global horizontal, outro configurado com um anel de sombreamento com o objetivo de medir a irradiância solar horizontal difusa. O anel de sombreamento obstrui a componente direta da irradiância solar ao longo do dia, permitindo medir apenas o valor da componente difusa, conforme demonstrado na Figura 2. O anel foi ajustado periodicamente de forma manual, e os seus resultados de medição foram corrigidos através do fator de correção F_C , de acordo com a tabela apresentada no manual do equipamento (Kipp & Zonen, 2004), a fim de compensar a parcela difusa do céu bloqueada pelo anel de sombreamento. Uma célula

fotovoltaica de referência foi usada para medir a irradiância solar global no plano dos módulos e a temperatura ambiente (T_{AMB}) foi medida por sensores do tipo Pt100.



Figura 2: Piranômetro com anel de sombreamento acoplado para realizar medição de radiação solar difusa horizontal.

Os valores de velocidade do vento no local de instalação não foram medidos durante o período de avaliação e, portanto, não fazem parte do arquivo de dados levantados. As leituras de radiação solar incidente, temperatura ambiente e potência em corrente alternada instantânea na saída do inversor foram efetuadas. As médias foram calculadas em intervalos de vinte minutos e armazenadas pelo sistema de aquisição de dados (SMA SBCOP02 Sunny Boy) no período de 27 de agosto de 2020 a 31 de dezembro 2020. Esses valores foram compilados e transformados em médias horárias através de ferramentas computacionais. Devido ao fato de que o software SAM solicita na entrada arquivos climáticos com uma base de dados horários de pelo menos um ano de intervalo, o arquivo de medições no local foi complementado com dados de um ano TMY (Typical Meteorological Year). Foi considerado que a quantidade de dados obtidos é suficiente para a análise proposta, apesar de ser um intervalo menor que um ano.

Base de dados INMET-NREL

Valores de radiação solar global no plano horizontal (I) e temperatura ambiente (T_{AMB}) em intervalos de uma hora foram fornecidos pela estação automática A-801 do INMET, localizada aproximadamente 6 km de distância do sistema fotovoltaico analisado. Os dados estão disponíveis

publicamente na página do INMET. O modelo SOLPOS-NREL foi usado para obter dados de radiação solar global horizontal extraterrestre I_0 (sem influência atmosférica) e ângulo de zênite θ_z (ângulo entre os raios solares e a vertical) também em escala horária. A rara ausência de medição de dados, devido a erros instrumentais e dados incoerentes, foi corrigida manualmente. Valores de radiação extraterrestre e ângulos de zênite na metade de cada hora do dia foram utilizados nos cálculos (também disponibilizado pelo SOLPOS-NREL), caracterizando a radiação no centro do intervalo de uma hora. Com os valores de I e I_0 , pôde-se calcular o índice de claridade horário (k_T) de acordo com a eq. (1):

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Esse índice é a razão entre a componente de radiação solar global horizontal horária e a radiação solar extraterrestre, e descreve a perda de energia solar na atmosfera devido ao espalhamento e à nebulosidade presente no céu. Através desses resultados, foi utilizada a modelagem empírica proposta por Erbs et al. (1982) para obter a fração horária da radiação solar difusa horizontal, de acordo com a eq. (2):

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0.09k_T & k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604k_T + 4.388k_T^2 - 16.638k_T^3 + 12.336k_T^4 & 0.22 < k_T \leq 0.8 \\ 0.177 & k_T > 0.8 \end{cases} \quad (2)$$

Essas equações empíricas correlacionam a fração horária da radiação solar difusa horizontal e o k_T para diferentes intervalos do índice de claridade horário. Dispondo da radiação solar global horizontal e a razão I_d/I , pôde-se obter a radiação solar difusa horizontal I_d em intervalos de uma hora.

Sabendo que a radiação solar global horizontal é a soma das componentes difusa e direta, para calcular a componente da radiação solar direta normal ($I_{b,n}$) ao plano horizontal foi utilizada a eq. (3):

$$I_{b,n} = \frac{I - I_d}{\cos\theta_z} \quad (3)$$

System Advisor Model - SAM

Existem hoje diversos softwares no mercado que auxiliam projetistas a tomar decisões referentes a viabilidade técnica e econômica do uso de energia solar para produção de energia elétrica. A simulação de desempenho do sistema fotovoltaico foi realizada utilizando o SAM (Blair et al., 2018). SAM é uma ferramenta computacional de modelagem desenvolvida pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) que permite realizar a análise energética e financeira de sistemas fotovoltaicos e diversas outras tecnologias renováveis. Duas simulações distintas foram realizadas com o objetivo de analisar a diferença entre os resultados provenientes dos dados medidos e obtidos por uma base de dados do INMET. Um modelo de sistema fotovoltaico detalhado foi utilizado nesse estudo, onde na interface do software foram inseridos parâmetros como os dados do catálogo do módulo e do inversor descritos na Tabela 1 e 2, os arquivos climáticos com os valores de hora em hora da radiação solar global horizontal (I), radiação solar difusa horizontal (I_d), radiação solar direta normal ($I_{b,n}$) e temperatura ambiente (T_{AMB}). A Figura 3 esquematiza através de um fluxograma as simulações realizadas e o processo de comparação entre os resultados.

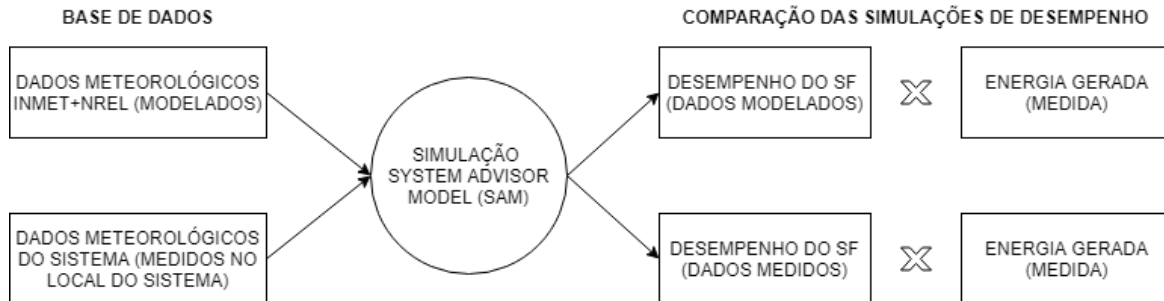


Figura 3: Fluxograma de simulações feitas no SAM para o sistema fotovoltaico (SF).

Por meio da utilização das variáveis I e I_d , e o modelo Perez de céu difuso (Perez et al., 1987), foi possível realizar o cálculo da radiação solar difusa e direta incidentes no plano inclinado dos módulos, a componente de radiação refletida no solo e consequentemente a energia gerada pelo sistema fotovoltaico nos dois casos. A primeira análise teve o objetivo de testar o SAM como uma ferramenta de monitoramento quando alimentado com dados horários medidos, buscando comparar os resultados de energia gerada ao longo dos quatro meses na simulação com os armazenados no datalogger. O SAM normalmente é utilizado como ferramenta de projeto e estimativa de produção de energia, e, portanto, foi avaliada as diferenças dos resultados de energia gerada ao longo dos quatro meses quando comparados aos dados armazenados no datalogger.

O sistema fotovoltaico estudado, conforme mostra a Figura 1, é sombreado em boa parte do período da manhã e da tarde por elementos no entorno. A fim de retirar interferências na modelagem, foi considerado o período do dia sem nenhum sombreamento em qualquer época do ano (das 11 horas ao meio-dia) para a comparação entre a potência CA simulada com a potência CA medida por instrumentação. Foram feitas duas simulações com diferentes arquivos climáticos: um com dados medidos no local e o outro com dados de uma estação solarimétrica. As simulações no SAM não consideraram o sombreamento parcial do sistema fotovoltaico, pois as diferenças relacionadas ao modelo de sombreamento considerado pelo SAM se somariam ou não tornariam evidentes as diferenças causadas pela base de dados.

Resultados e Discussão

Os dados de radiação solar provenientes de medição e da estação meteorológica do INMET, além dos resultados obtidos no SAM utilizando a metodologia descrita são analisados nesta seção. O valor máximo medido de radiação solar global horizontal, no dia 22 de dezembro às 12 horas, foi 1204 Wh/m^2 . Na base de dados do INMET, o valor máximo encontrado foi 1094 Wh/m^2 no dia 21 de novembro. A Figura 4 apresenta a radiação solar horária medida no local e a obtida pelo INMET ao longo do dia 02 de dezembro de 2020. Em alguns horários da manhã, a radiação solar medida no local é menor do que a do banco de dados do INMET, enquanto que a radiação solar medida no local é maior logo após o meio dia. Entretanto, a radiação diária acumulada medida pelo INMET é em torno de 4 % maior que a medida no local nesse dia.

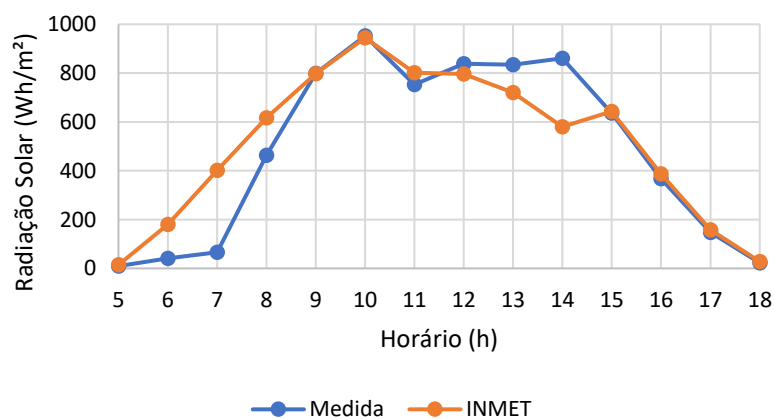


Figura 4 – Radiação horária medida no local do sistema fotovoltaico e pelo INMET.

Na figura 5, estão apresentados os valores de irradiação solar global horizontal mensal (considerado o período de medição) em kWh/m² para ambas as fontes de dados. Como o mês de agosto tem poucas medições realizadas, seus valores são considerados apenas para fins de comparação. Os valores medidos no local e obtidos pelo INMET de radiação solar global horizontal total acumulada ao longo do período em questão são respectivamente 572 kWh/m² e 624 kWh/m². A diferença entre a radiação total obtida pelos dados do INMET em relação aos dados medidos é de 9,2 % para todo o período de medição.

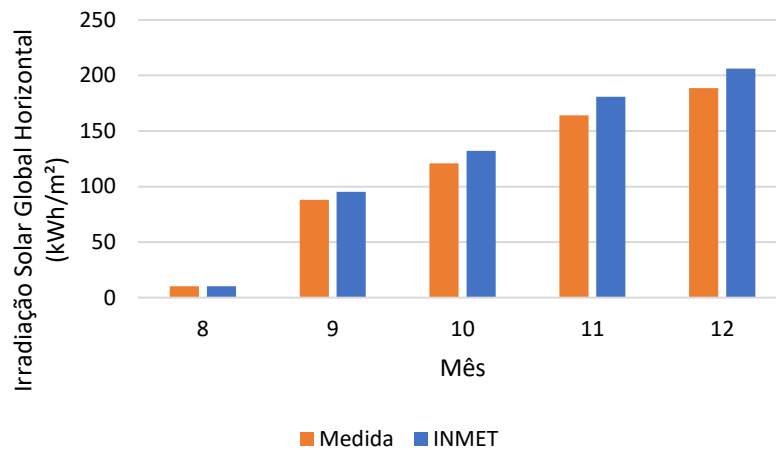


Figura 5: Valores de irradiação solar global horizontal mensal medidos e do INMET de agosto a dezembro de 2020.

A porção da radiação difusa na radiação solar global horizontal é um parâmetro importante para verificar a limpidez do céu. Na figura 6, estão apresentados os valores mensais acumulados para ambas as fontes de dados. Os resultados obtidos ao longo do período em questão mediante cálculo com os dados medidos e com os dados do INMET são, respectivamente, 0,40 e 0,43.

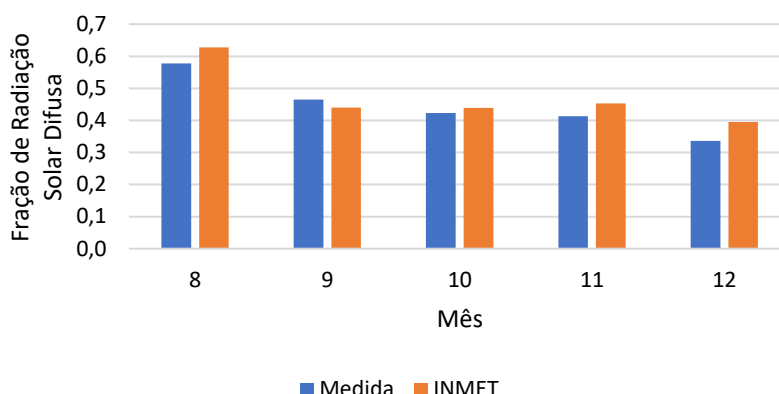


Figura 6: Fração de radiação solar difusa medida e calculada com dados do INMET de agosto a dezembro de 2020

A tabela 3 apresenta os valores da energia gerada pelo sistema fotovoltaico medida na saída do inversor e simulada com ambas as fontes de dados considerando somente o horário sem sombreamento, das 11 horas ao meio dia. As diferenças na energia mensal simulada e medida para o mesmo horário está apresentada na Tabela 4. As diferenças mensais variam de -6,0 % a 14,0 % com o uso da base de dados do INMET. Quando foram utilizados na simulação dados de radiação solar medidos no local, as diferenças na energia mensal foram menores, variando de -3,4 % e 3,8 % conforme consta na Tabela 4.

Tabela 3: Energia mensal em CA acumulada gerada das 11 horas ao meio dia.

Mês	Energia simulada SAM – INMET Energia simulada SAM – Medidos		
	Energia Medida (kWh)	(kWh)	(kWh)
8	3,42	3,22	3,51
9	22,58	22,29	23,43
10	27,76	26,41	27,68
11	29,53	33,68	30,39
12	33,09	33,66	31,96
Total	116,38	119,26	116,97

Tabela 4: Diferença na energia mensal em CA simulada e medida entre as 11 horas e o meio-dia.

Mês	SAM - INMET	SAM - Medidos
8	-6,0%	2,4%
9	-1,3%	3,8%
10	-4,9%	-0,3%
11	14,0%	2,9%
12	1,7%	-3,4%

De acordo com a Tabela 5, a diferença entre a energia acumulada medida e a simulada pelo SAM utilizando os dados de radiação medidos no local em todo o período de medição é de 0,5 %. Esse resultado evidencia a acurácia dos resultados obtidos por simulação utilizando o SAM. Já a energia CA acumulada obtida pela simulação realizada utilizando a base de dados do INMET teve uma diferença de 2,5 % em relação à medida.

Tabela 5: Energia produzida acumulada em todo o período das 11 horas a meio-dia.

	Medida	SAM - INMET	SAM - Medidos
Energia (kWh)	116,38	119,26	116,97
Diferença	-	2,5%	0,5%

Foram verificadas diferenças na radiação solar medida no local e a da base de dados do INMET ao longo de um dia, porém a diferença ao longo de todo o período é de 9,2 %. Apesar da energia elétrica mensal simulada ser em torno de 14 % maior que a medida no mês de novembro quando utilizada a base de dados do INMET, a diferença acumulada em todo o período de medição é menor que 3 %. Quanto maior o intervalo de análise de dados, as diferenças na radiação solar e na energia elétrica simulada tendem a diminuir. Portanto, as diferenças entre os resultados simulados e medidos não foram significativas, mostrando que o uso de uma base de dados proveniente de estações solarimétricas públicas é uma opção considerada viável para o monitoramento de sistemas fotovoltaicos em geração distribuída, uma vez que a medição no local normalmente é inviável para o monitoramento de sistemas de pequeno porte. Este método de monitoramento pode por exemplo indicar a necessidade de limpeza dos módulos, isto é, quando houver uma tendência de redução da energia produzida e a diferença entre a energia simulada começar a aumentar e chegar a valores em que o desempenho do sistema em comparação com o esperado na simulação estiver fora de certos

limites estabelecidos. O monitoramento também permite acompanhar e verificar eventuais falhas não esperadas no sistema e intervir rapidamente. Sem um monitoramento eficiente, com dados de radiação solar confiáveis não é possível verificar se o sistema está operando conforme o esperado.

Considerações Finais

Este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade de realizar o monitoramento de sistemas fotovoltaicos utilizando uma base de dados medidos por uma estação solarimétrica pública, e que não está no mesmo local da instalação fotovoltaica. Neste caso, a estação está na mesma cidade, distante aproximadamente 6 km do sistema analisado. Foram comparados dados de radiação solar medidos no local da instalação fotovoltaica com dados obtidos de uma estação do INMET em uma região próxima. Além disso, a energia gerada ao longo de todo o período de medição foi lida e comparada com a energia simulada pela ferramenta SAM, utilizando como entrada um arquivo climático com dados de medição no local e outro com dados do INMET.

As comparações dos dados de radiação solar diários e mensais mostraram que existem diferenças entre os valores medidos no local e pelo INMET, e ao longo de todo o período de medição a diferença na radiação acumulada foi de 9,2 %. Ao comparar a energia elétrica gerada acumulada das 11 horas ao meio dia (horário sem sombra) ao longo de todo o período de medições, o resultado da simulação realizada com o arquivo climático medido apresentou 0,5 % de diferença em relação ao valor de energia medida, confirmando a acurácia dos resultados simulados pelo SAM. A energia elétrica estimada pelas simulações realizadas com o banco de dados do INMET apresentou uma diferença média de 2,5 % em relação à energia medida.

Portanto, a utilização de dados provenientes de uma estação solarimétrica próxima ao local de instalação é útil e viável para o monitoramento de sistemas fotovoltaicos. Estudos futuros, com o objetivo de automatizar a aquisição de dados provenientes de estações e utilizar essa metodologia de comparação, podem ser realizados a fim de obter um produto de mercado na área de monitoramento e manutenção de sistemas fotovoltaicos, em que desvios acentuados da energia esperada fora dos limites de acurácia da metodologia indicam alguma necessidade de intervenção no sistema, seja para limpeza ou verificação de algum defeito oculto.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências Bibliográficas

- Batlles, F. J., Rubio, M. A., Tovar, J., Olmo, F. J., & Alados-Arboledas, L. (2000). Empirical modeling of hourly direct irradiance by means of hourly global irradiance. *Energy*, 25(7), 675–688. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(00\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(00)00007-4)
- Blair, N., Diorio, N., Freeman, J., Gilman, P., Janzou, S., Neises, T. W., & Wagner, M. J. (2018). *System Advisor Model (SAM) General Description. NREL/TP-6A20-70414*. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70414.pdf>
- Camargo Francisco, A. C., De Miranda Vieira, H. E., Romano, R. R., & Monteiro Masalskiene Roveda, S. R. (2019). The influence of meteorological parameters in the generation of energy in photovoltaic panels: A case study of Smart Campus Facens, SP, Brazil. *Urbe*, 11, 1–15. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20190027>
- de Souza, A. P., Escobedo, J. F., Pai, A. D., & Gomes, E. N. (2010). Estimativa da radiação global incidente em superfícies inclinadas por modelos isotrópicos e índice de claridade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(4), 339–350. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000400001>
- Dimas, F., Gilani, S., & Aris, M. (2011). Hourly solar radiation estimation from limited meteorological data to complete missing solar radiation data. *International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE*, 8(April 2015), 14–18. <http://www.ipcbee.com/vol8/4-S017.pdf>
- EPE, E. de P. energética, & MME, M. de M. e E. (2018). *Balço Energético Nacional de 2018 (ano base 2017): Relatório Completo*. 1,294. http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_Int.pdf
- Erbs, D. G., Klein, S. A., & Duffie, J. A. (1982). Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar Energy*, 28(4), 293–302. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(82\)90302-4](https://doi.org/10.1016/0038-092X(82)90302-4)
- Haffaf, A., Lakdja, F., Ould Abdeslam, D., & Meziane, R. (2021). Monitoring, measured and simulated performance analysis of a 2.4 kWp grid-connected PV system installed on the Mulhouse campus, France. *Energy for Sustainable Development*, 62, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.03.006>
- Kazem, H. A., Khatib, T., Sopian, K., & Elmenreich, W. (2014). Performance and feasibility assessment of a 1.4 kW roof top grid-connected photovoltaic power system under desertic weather conditions. *Energy and Buildings*, 82, 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.048>
- Kipp & Zonen. (2004). *Instruction Manual CM121 Shadow ring*. 27.
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C. (1960). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, 4(3), 1–19. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(60\)90062-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(60)90062-1)
- Murat Ates, A., & Singh, H. (2021). Rooftop solar Photovoltaic (PV) plant – One year measured performance and simulations. *Journal of King Saud University - Science*, 33(3), 101361. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101361>
- Okello, D., Van Dyk, E. E., & Vorster, F. J. (2015). Analysis of measured and simulated performance data of a 3.2 kWp grid-connected PV system in Port Elizabeth, South Africa. *Energy Conversion and Management*, 100, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.064>
- Orgill, J. F., & Hollands, K. G. T. (1977). Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. *Solar Energy*, 19(4), 357–359. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(77\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0038-092X(77)90006-8)

Perez, R., Seals, R., Ineichen, P., Stewart, R., & Menicucci, D. (1987). A new simplified version of the perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. *Solar Energy*, 39(3), 221-231. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(87\)80031-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(87)80031-2)

Raghoebarsing, A., & Kalpoe, A. (2017). Performance and economic analysis of a 27 kW grid-connected photovoltaic system in Suriname. *IET Renewable Power Generation*, 11(12), 1545-1554. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2017.0204>

Reindl, D. T., Beckman, W. A., & Duffie, J. A. (1990). Diffuse fraction correlations. *Solar Energy*, 45(1), 1-7. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(90\)90060-P](https://doi.org/10.1016/0038-092X(90)90060-P)

Scolar, J., Martins, D., & Escobedo, J. F. (2003). Estimativa da irradiação total sobre uma superfície inclinada a partir da irradiação global na horizontal. *Revista Brasileira de Geofísica*, 21(3), 249-258. <https://doi.org/10.1590/s0102-261x2003000300004>

ESTUDO DA VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM TODOS OS EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL DO MUNICÍPIO DE MACAÉ-RJ

| ID 18811 |

1 Andreza Karla Alves Pereira, 2 José Augusto Ferreira da Silva

1 Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé, e-mail: andreza_karla94@hotmail.com; 2 Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé, e-mail: jafferreira@gmail.com

Palavras-chave: Sistema solar fotovoltaico; Geração distribuída; Energia solar.

Resumo

A energia solar fotovoltaica vem apresentando um crescimento significativo na sua participação na matriz elétrica em diversos países. Seguindo esta tendência, o Brasil vem se destacando, com um crescimento relevante. O Brasil possui destaque no potencial para a geração de energia proveniente da irradiação solar já que fica localizado na zona intertropical, registrando assim, elevados índices de irradiação durante todo o ano, além disso possui sua matriz de geração de energia elétrica altamente fundamentada em fontes renováveis. A análise da viabilidade financeira para uma implementação de um sistema solar fotovoltaico é de suma importância atualmente, visto que a energia elétrica no quesito das necessidades humanas é um elemento essencial e com o aumento da demanda energética acaba ocasionando uma exigência ainda maior em relação a essa tecnologia e sua eficácia. Sob a perspectiva social e de energia renováveis, se propõe uma análise da implementação de projetos de energia solar fotovoltaica em todos os empreendimentos habitacionais de interesse social do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Macaé-RJ. O município possui atualmente 12 empreendimentos do Programa, totalizando 1302 unidades habitacionais. Para realizar tais análises foram utilizados dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), FGV (Fundação Getúlio Vargas) entre outros. Diante dos dados coletados, foi dimensionado o sistema solar fotovoltaico que atendesse 100% a demanda energética local que gira em torno de 208.270 kWh/mês, ou seja, aproximadamente 5.500 placas para atender todos os empreendimentos, e para isso seria necessário um investimento inicial de cerca de R\$5,5 milhões, com estimativa de tempo de retorno do investimento inicial em 33 meses, ou seja, o investimento se recuperaria cerca de 3 anos após o início do projeto. Além disso, foi conduzida uma estimativa do impacto do projeto no âmbito da redução das emissões de CO₂, que resultou em aproximadamente

200 ton/ano, cerca de 5000 ton ao longo dos 25 anos de vida útil do projeto. Diante dos resultados obtidos ficou evidenciado uma boa aderência a implementação de sistemas fotovoltaicos em empreendimentos de interesse social, visto que há viabilidade financeira e capacidade de proporcionar benefícios sociais para uma população economicamente frágil, além de contribuir com a redução das emissões de CO₂, resultados que estão em linha com as objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU.

Introdução

O Brasil é um país privilegiado no âmbito da energia gerada através do sol, visto que é um dos países com maior potencial de geração de energia elétrica proveniente da irradiação solar por possui um elevado tempo de brilho solar durante todo o ano.

Os investimentos em energia solar vem apresentando um crescimento considerável anualmente, no Brasil. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil poderá possuir investimentos em torno de 100 bilhões de reais nessa tecnologia, até o ano de 2030, o que corresponde a aproximadamente 25% das matrizes de energia de todo o país.

Os incentivos à geração de energia solar de forma distribuída se dá, pelo elevado potencial dessa modalidade, bem como os benefícios que a mesma proporciona ao sistema elétrico, como o baixo impacto ambiental, redução no carregamento das redes e conseqüentemente a postergação nos investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição (CORREIA et. al., 2020).

Com a pesquisa, resultante desse artigo, buscou-se realizar uma análise da viabilidade de uma hipotética implantação do sistema solar fotovoltaico em todos os empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida do município de Macaé-RJ, buscando entender os reflexos causados por esta medida na esfera social, ambiental e econômica.

Material e Métodos

Para o estudo de viabilidade, foi realizada uma revisão bibliográfica, utilizando como base de dados o portal de Periódicos da Capes, para o levantamento bibliométrico através da inserção de termos de busca correlatos o tema, com o uso de operadores booleanos e símbolos de truncamentos.. Foi utilizado também como forma de buscas para obtenção de materiais que contemplassem artigos com a temática envolvendo energia solar fotovoltaica e geração distribuída, um levantamento bibliográfico, onde foram realizadas consultas em livros, revistas e meios eletrônicos.

Para realização do estudo de viabilidade, a obtenção dos dados quantitativos utilizados como parâmetro para os cálculos foi realizada através dos dados públicos divulgados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), FGV (Fundação Getúlio Vargas), entre outros. Foram utilizados *softwares* livres como *LibreOffice* para realização dos cálculos e QGIS (*software* de SIG – sistema de informações geográficas) para análise dos dados sob a perspectiva geoespacial.

Geração distribuída

A geração distribuída pode ser conceituada como “... qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas, alimentadas sem necessidade de transporte da energia através da rede de transmissão, e que tenha capacidade de mobilidade no que diz respeito à sua localidade física” (AMARAL et. al., 2016).

Nos últimos anos diversos fatores contribuíram para o crescimento da geração distribuída, dentre esses fatores foram destacados cinco que fizeram essa tecnologia ganhar visibilidade do mercado e consequentemente investimentos do mesmo, de acordo com a FGV (2015) tais fatores são: liberação do mercado de energia; desenvolvimento de tecnologias de geração elétrica em escala reduzida; aumento na demanda de uma eletricidade mais confiável; restrições na construção de novas linhas de transmissão e preocupações com as mudanças climáticas.

De acordo com a ANEEL (2019), que foi a principal agente responsável pelo crescimento da geração distribuída visto que em 2012 a mesma lançou uma resolução normativa regularizando o método de geração distribuída (Resolução nº 482/2012), de acordo com a mesma, a geração distribuída no país ultrapassou a marca de 1GW de potência instalada em micro e minigeração onde a fonte mais utilizada pelos consumidores é a solar fotovoltaica que possui aproximadamente 86 mil micro e mini usinas e 870MW de potência instalada.

Segundo o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) o Brasil até o ano de 2030 possuirá cerca de 2,7 milhões de unidades consumidoras no setor agrícola, residencial, comercial e industrial, gerando sua própria energia.

Primeiro empreendimento de grande porte no Brasil a utilizar a tecnologia de geração distribuída

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) o primeiro empreendimento de grande porte a utilizar a tecnologia de geração distribuída fica localizado na região de Pampulha em Minas Gerais, o condomínio possui 440 unidades habitacionais.

Segundo a MRV (2018), o empreendimento nominado Spazio Parthenon é uma grande conquista para a empresa visto que o sistema solar fotovoltaico irá atender a demanda do consumo individual de cada apartamento e das áreas comuns, sendo assim vai atender aos objetivos da empresa de contribuir para um desenvolvimento sustentável através da utilização de uma fonte de energia limpa.

No empreendimento foi instalado o sistema solar fotovoltaico com uma potência de 437,25 kWp, tal sistema gera mensalmente 52.800 kWh de energia, para que essa demanda energética fosse atendida, foi necessário utilizar 1.650 placas solares no empreendimento, o que resultou em um investimento inicial de R\$1,5 milhão. Em síntese, no Spazio Parthenon são geradas por apartamento 120 kWh por mês, das quais, 105 kWh/mês são para consumo próprio do morador, e os outros 15 kWh/mês são conduzidos para a área comum do empreendimento. Se em algum mês a quantidade energética gerada para cada morador, ultrapasse a demanda do mesmo, a energia produzida pelo sistema em excesso, é convertida em crédito e poderá ser utilizada em até 60 meses (MRV, 2018).

Na Figura 1 ilustra-se a disposição das placas solares fotovoltaicas que ficaram situadas no telhado de cada bloco do empreendimento a fim de se obter uma melhor irradiação solar durante o dia e consequentemente gerar mais energia.



Figura 1: Spazio Parthenon.

Fonte: MRV, 2018.

Utilização da geração de energia distribuída e a redução na emissão de CO2

A elevada quantidade de dióxido de carbono na atmosfera trazem consequências como chuva ácida, poluição do ar, efeito estufa, entre outros. Tais efeitos provocam um aquecimento terrestre e com isso é gerado diversos danos ao ecossistema. Uma das alternativas para que haja a redução da emissão de CO2 na atmosfera é a substituir a fonte de energia gerada através de combustíveis fósseis como a queima de carvão e petróleo, visto que tal ato contribui consideravelmente para o aquecimento global, por fontes de energias renováveis (IRENA, 2017a).

O Brasil é um dos maiores emissores de gases do efeito estufa no mundo, decorrente da grande dependência dos combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica. No ano de 2015 o nível de emissão mundial de CO2 atingiu cerca de 36,24 bilhões de toneladas onde, a ordem de países de maior emissão ocorreu na seguinte ordem: China 29,35%, EUA 14,26%, Europa 9,57%, Índia 6,76%, Rússia 4,85%, Japão 3,45% e o Brasil 1,32% (JRC, 2015).

O Brasil tem um excelente potencial de geração de energia elétrica proveniente da luz solar, visto que o país possui uma posição geográfica privilegiada e com isso possui mais horas de brilho solar, o que evidencia o grande potencial do país em geração de energia elétrica através de fontes limpas (IRENA, 2017a).

De acordo com Dantas et.al, 2019, onde o mesmo realizou um estudo de caso em uma unidade consumidora com uma micro usina fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica de 45kWp, afim de avaliar a quantidade ativa de energia em tal usina, bem como seu nível de emissão de CO2, segundo os dados levantados para o estudo, o nível de emissão de CO2 no mês de maio de 2018 da unidade consumidora utilizando a energia da usina foi em torno de 180 kgCO2, em comparação com a unidade consumidora no mesmo mês, porém, utilizando apenas energia ativa da concessionária, onde a emissão de CO2 girou em torno de 270 kgCO2. Diante dos resultados obtidos fica evidenciado que a utilização do sistema solar fotovoltaico reduz consideravelmente a emissão de CO2 na atmosfera, pois de acordo com o estudo, o mês de maio de 2018 gerou uma redução de 32% ou aproximadamente 90 kgCO2 de emissão de dióxido de carbono.

Geração de energia distribuída no país e o peso no orçamento das famílias brasileiras

A utilização da energia proveniente da radiação solar, é uma realidade bastante presente em boa parte do Brasil, atualmente o país possui cerca de 5 GW instalados, e com isso obtém cada vez mais consumidores, porém, o avanço da utilização dessa tecnologia resulta em uma pressão na conta de luz daqueles que não fazem uso de tal tecnologia. Isto ocorre pois a conta de luz é composta pelos seguintes custos: distribuição, transmissão, impostos, encargos setoriais, perdas e custo da energia. Ou seja, os incentivos que foram fornecidos a quem utilizasse a geração de energia distribuída, geram

um impacto sobre a conta de luz dos demais consumidores, principalmente às famílias mais pobres, visto que a conta de luz atualmente impacta tais famílias em média 5 vezes mais, se comparados as famílias mais ricas (IDEC, 2021).

Contudo, o consumidor que faz uso da energia solar fotovoltaica, a conta de luz do mesmo se limita a uma tarifa mínima que é paga a concessionária para disponibilizar energia, caso o sistema não supra a demanda total. O grande problema é que tal tarifa não é suficiente para atender a instalação demandada pelo sistema. Dados da Aneel mostram que, esse cruzamento de subsídio, gerará um custo aproximado de R\$55 bilhões de reais nos próximos 15 anos, tal custo será cobrado das famílias mais pobres através das taxas de conta de luz (IDEC, 2021).

Portanto, o que atualmente acontece na prática é que, mesmo que os custos que os sistema de geração distribuída acarreta seja distribuído por todos os consumidores, os benefícios que tal tecnologia possui, são usufruídos predominantemente pelas classes mais favorecidas (ABRADEE, 2021).

Resultados e Discussão

Atual cenário do local de estudo

O ambiente de estudo são todos os empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida do município de Macaé-RJ, que de acordo com a SISLAB, o município possui 12 empreendimentos com status concluído o que totaliza 1302 unidades habitacionais, como mostra a Quadro 1.

A partir do mapa apresentado na Figura 2, é possível verificar de forma qualitativa que no município de Macaé, os locais onde a tecnologia de sistemas solares fotovoltaicos está mais difundida são os bairros mais nobres/intermediários, como por exemplo, Praia dos Cavaleiros, Imbetiba, Praia do Pecado, Vale dos Cristais, Mirante da Lagoa, entre outros.

Esta correlação é explicada principalmente pelo alto investimento inicial demandado para instalação do sistema, valores médios em torno de R\$ 27 mil (a partir de cotações com fornecedores locais) para um sistema capaz de atender uma família com 4 pessoas. Esse fator é significativo para o entendimento da baixíssima aderência das famílias de baixa renda aos sistemas solares fotovoltaicos.

A relação entre a alta concentração dos sistemas fotovoltaicos nos bairros com maior renda e a baixa concentração nos de menor renda, evidencia mais uma consequência da desigualdade social tão intensa no Brasil e também no Município de Macaé. Essa realidade da limitação de acesso à tecnologia solar fotovoltaica é visualizada em todo país e caracteriza não apenas uma consequência da desigualdade social, mas também contribui para o agravamento da mesma, visto que a

implementação do sistema, de forma geral, gera benefício financeiro a longo prazo para o seu detentor e ônus para os não detentores.

Quadro 1: Quantitativo de obras do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Macaé-RJ. Fonte: ANEEL, 2021.

UF	Município	Empreendimento	UH	Valor	Status
RJ	Macaé	PARQUE MAR DO CARIBE	178	2.538.606,90	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL BOSQUE AZUL QUADRA 03	42	3.439.089,92	Obras Entregues
RJ	Macaé	RESIDENCIAL BOSQUE AZUL QUADRA 04	86	9.641.813,35	Obras Entregues
RJ	Macaé	RESIDENCIAL MAR BALTICO	195	3.329.823,83	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL MAR DA IRLANDA	208	6.590.818,73	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL MAR DE GALES	240	5.747.184,66	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL MAR DO NORTE	232	7.342.791,75	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL PARQUE MARACAIBO - MODULO I	12	1.264.153,84	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RES PQ MARACAIBO_MOD II	4	397.619,44	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	TOTAL VILLE MACAE - CONDOMINIO 2	40	1.177.163,11	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	TOTAL VILLE MACAE - CONDOMINIO 3	17	660.151,42	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	TOTAL VILLE MACAE MODULO I	48	998.830,18	Obras Concluídas - FGTS

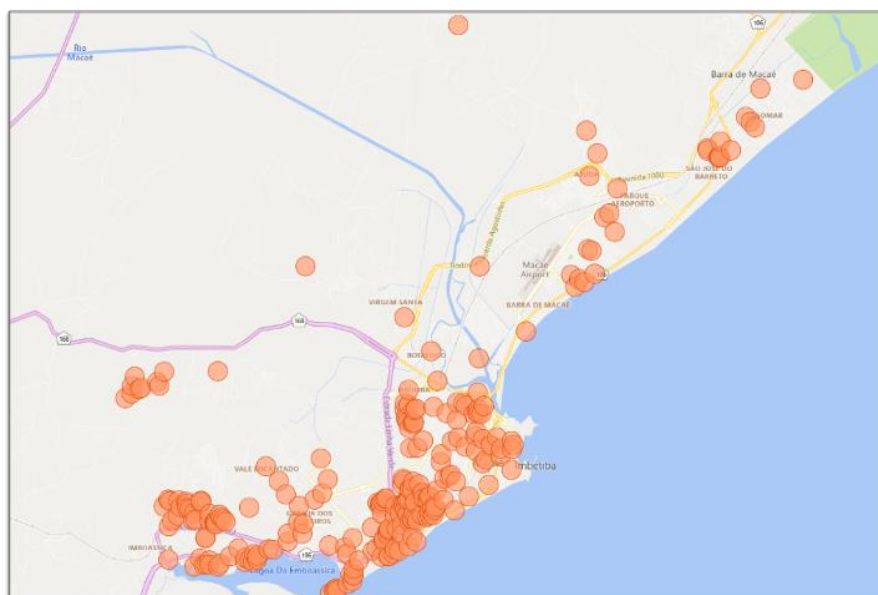


Figura 2: Concentração dos bairros que mais possuem painéis fotovoltaicos. Fonte: ANEEL, 2021.

Consumo de energia elétrica do local

Para que haja um dimensionamento do sistema solar fotovoltaico eficaz para suprir a demanda do local, é necessário fazer o levantamento do consumo médio do local a fim de descobrir quantas placas fotovoltaicas serão necessárias para atender o sistema.

Quadro 2: Número de moradores por residência.

Fonte	Número médio de moradores por residência				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
IBGE (2007)	4,0	3,8	3,4	3,3	3,2
Eletrobrás/PROCEL (2005)	3,8	3,5	2,9	3,4	3,0

Quadro 3: Consumo de energia elétrica por residência.

Consumo de energia elétrica por residência (kWh/mês)					
Fonte	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
IBGE (2007)	109,2	97,1	153,8	159,9	162,0
Eletrobrás/PROCEL (2005)	88,8	97,0	108,9	169,8	267,2

De acordo com os Quadros 2 e 3 é obtido uma média de consumo para a região sudeste de 160 KWh/mês, considerando que cada residência possua uma média de 4 moradores. Ou seja, o consumo de energia elétrica dos 12 empreendimentos do município gira em torno de 208.320 KWh/mês.

Segundo a Resolução Normativa nº 414 de 2010 da ANEEL, caso o cliente possua uma rede bifásica, e cobrado do mesmo uma tarifa mínima obrigatória, independente se houver ou não o consumo, relativo a 50 KWh/mês, ou seja, para realizar o dimensionamento do sistema é necessário retirar 50 KWh/mês da demanda estimada.

$$E = \frac{(Ec-tx)}{30} \quad (1)$$

Onde:

E = consumo médio diário (kWh/dia);

Ec = consumo médio mensal (kWh/mês);

tx = tarifa mínima obrigatória (50 kWh/mês)

A partir da Equação (1) foi obtido um valor de 6.942 KWh/dia para o consumo médio diário dos 12 empreendimentos.

Potência nominal e número de placas necessárias

Para a realização do cálculo da potência do sistema solar fotovoltaico é preciso realizar a divisão do consumo médio diário do sistema pela média da irradiação diária do município que foi obtido através do software Sundata e ao supor que as placas serão dimensionadas horizontalmente, ou seja, com o ângulo de inclinação igual a zero, o valor da irradiação obtida para esta posição foi de 4,92 KWh/m².dia. Para a obtenção do valor da potência é preciso utilizar a Equação (2):

$$P_s = \frac{E}{\sigma_{is}} \quad (2)$$

Onde:

Ps = potência do sistema (kWh);

E = consumo médio diário (kWh/dia);

σ_{is} = média de irradiação solar (kWh/m².dia).

Ao realizar os cálculos pertinentes a Equação (2) foi obtido um valor de 1.410,98 KW de potência para o sistema.

Para saber quantas placas fotovoltaicas são necessárias para atender a demanda dos empreendimentos, é necessário realizar a divisão da potência total do sistema, pela potência total das placas que de acordo com o fabricante das placas Globo é de 260W, conforme mostra a Equação (3).

$$n_p = \frac{P_s}{P_p} \quad (3)$$

Onde:

n_p = número de placas necessárias (un);

P_s = potência do sistema (W);

P_p = potência da placa (W).

Ao realizar os cálculos pertinentes a Equação (3), foi obtido um valor de 5.466,84 unidades, ou seja, para atender a demanda dos 12 empreendimentos do município de Macaé, são necessárias 5.467 placas fotovoltaicas. Segundo o fabricante das placas fotovoltaicas Globo, as dimensões das mesmas são de 1,640 x 0,990 m, o que dá uma área de 1,63m² aproximadamente, ao considerar a dimensão das placas e a quantidade necessária de placas para atender o sistema, seria necessária uma área de aproximadamente 8.911m², onde, dividido pelos 12 empreendimentos ficaria uma área de 742m² para cada condomínio.

Dimensionamento e custo do sistema solar fotovoltaico

Diante dos cálculos apresentados anteriormente, utilizando o valor do kWh a R\$0,79776, que multiplicado pelo consumo médio do local (208.320 kWh menos a taxa da concessionária de 50 kWh), obtém-se o valor de R\$166.149,47 para o sistema. O dimensionamento do sistema foi realizado para que atendesse 100% da demanda do local, ou seja, o sistema deverá atender a demanda de 208.270 kWh/mês.

Com isso, para que haja uma base do custo do investimento inicial para que o sistema seja instalado a fim de suprir toda a demanda mensal necessária do local, levando em consideração apenas o valor das placas fotovoltaicas, que de acordo com o mercado gira em torno de R\$1.000,00 a unidade, para atender o sistema com 5.467 placas, seria necessário um investimento inicial de R\$5.467.000,00.

Outro cálculo de suma importância é o tempo de retorno no investimento, pois a partir dos resultados obtidos é possível determinar ou não a viabilidade de implantação do sistema, tal cálculo é obtido através da Equação (4):

$$T_{payback} = \frac{In}{Ec} \quad (4)$$

Onde:

TPayback = tempo de retorno do investimento (meses);

In = investimento sistema (R\$);

EC = economia esperada (R\$).

Ao realizar os cálculos da Equação (4), foi obtido um valor de 33 meses, ou seja, se os 12 empreendimentos do município de Macaé implementarem o sistema, em aproximadamente 3 anos já seria obtido o retorno completo do investimento inicial. Além disso, visto que a vida útil das placas gira em torno de 25 anos, os consumidores teriam pelo menos 22 anos de economia com a energia elétrica, fato que evidencia a viabilidade econômica para essa tecnologia.

Cálculo da redução da emissão de CO2 com a utilização da energia solar fotovoltaica

De acordo com o MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) o cálculo para que seja determinado a quantidade de CO2 evitada com a utilização de sistemas solares fotovoltaicos é dada pela Equação (5) conforme demonstrado abaixo:

$$CO2_{evitado} = E_{produzida} \times FP_{CO2} \quad (5)$$

Onde:

CO2 evitado = massa de CO2 evitada (kg);

$E_{produzida}$ = Eletricidade produzida (kWh);

FP_{CO2} = Fator de prevenção de CO2 (kg/kWh)

A partir da Equação (5), utilizou-se o valor para o fator de prevenção fornecido pelo MCT de 0,1244 kg/kWh e a eletricidade produzida de 208.320 kWh (valor da demanda dos empreendimentos calculado através da Equação (1)) tal equação resultaria em um valor de 25.915

kg ou seja 2,6 toneladas de CO2 evitado por mês, e anualmente seria evitado a emissão de 311 toneladas de CO2.

Ao utilizar o sistema de energia solar fotovoltaico nos 12 empreendimentos no município há uma redução considerável na quantidade de CO2 emitida se comparado com a não utilização do sistema, porém esse valor não é zerado, o valor de CO2 emitido com a utilização do sistema é obtido através da multiplicação da eletricidade produzida pelo sistema e o fator de emissão de CO2 (gerado pela sistema de energia fotovoltaica), ou seja, 208.320 kWh (eletricidade produzida) e 0,045 kg/kWh (fator de emissão de CO2 para energia solar, vale ressaltar que para outras fontes energéticas esse fator é diferente) obtidos através dos dados do IPCC (2012), logo, com a implementação do sistema solar fotovoltaico os 12 empreendimentos emitiriam cerca de 9.374 kg de CO2 ou seja 9,3 toneladas por mês, ou 112.488 kg ou seja, 112,4 toneladas por ano.

Para saber o real valor que os empreendimentos estariam deixando de emitir de CO2 com a implementação do sistema solar fotovoltaico, basta diminuir o valor de CO2 evitado, conforme resultado da Equação (5) do valor de CO2 emitido através do sistema fotovoltaico, o que resulta em 311 toneladas menos 112,4 toneladas, logo, os empreendimentos estariam deixando de emitir cerca de 198,6 toneladas de CO2 por ano.

Diante dos cálculos expostos acima, o Quadro 4 abaixo representa o investimento inicial para a implementação do sistema solar fotovoltaico nos empreendimentos, bem como o tempo de retorno do investimento e a quantidade de CO2 que o local deixaria de emitir caso o sistema fosse implantado.

Quadro 4: Investimento e retorno do sistema. Fonte: Autores, 2021.

Estimativa do consumo (kWh)	208.320
Investimento inicial (R\$)	5.467.000,00
Tempo de retorno do investimento (meses)	33
Quantidade de CO2 evitado por ano (tonelada)	198,6

Conclusão

Atualmente, um dos maiores desafios enfrentados pelo Brasil e pelo mundo é o quesito energético, visto que a energia elétrica é um insumo essencial para o crescimento social, ambiental e econômico, porém engloba diversos impactos ambientais, tais impactos podem ser locais ou até mesmo globais. Assim sendo, umas das alternativas para que haja a mitigação desses impactos seria a do consumidor gerar parte ou 100% da energia consumida.

Diante dos resultados obtidos através dos cálculos apresentados foi possível analisar a completa viabilidade de implantação do sistema visto que mesmo com um investimento inicial relativamente alto, em torno de 5,5 milhões de reais, o tempo de retorno do mesmo é mínimo se comparado ao tempo de vida útil do sistema, o tempo de retorno gira em torno de 3 anos e a vida útil do sistema 25 anos, com isso é notório a viabilidade do sistema no quesito econômico, vale ressaltar que a economia gerada pelo sistema contempla todos os apartamentos dos empreendimentos, ou seja, haverá a redução na conta de energia elétrica de cada morador desses empreendimentos, bem como a redução com os gastos de energia para as áreas comuns.

No que tange os impactos ambientais advindos da energia elétrica, um dos impactos significantes é a quantidade de emissão de CO₂ na atmosfera, que causa diversos danos ambientais, ao implementar o sistema solar fotovoltaico no município, o mesmo deixaria de emitir cerca de 200 toneladas de CO₂ por ano, ou seja, há uma grande viabilidade ambiental com a utilização do sistema solar fotovoltaico.

Com isso, fica evidenciado o grande potencial que a fonte de energia solar possui no Brasil, podendo assim, se tornar uma das primeiras opções no quesito de geração de energia elétrica, pois possui viabilidade na esfera econômica e ambiental. Com esse estudo, pode-se também concluir que tem viabilidade na esfera social, pois há uma busca pela redução da desigualdade social que é tão presente, não apenas no município em estudo e sim em todo o Brasil e mundo.

Agradecimentos

Os Autores agradecem ao Instituto Federal Fluminense pelo apoio e ensino público de qualidade pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA).

Referências Bibliográficas

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. Por que o Brasil precisa mudar as regras da energia solar?. Março, 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/por-que-o-brasil-precisa-mudar-as-regras-da-energia-solar/>. Acesso em: 20 mai. 2021

AMARAL, A. B. A. et al. Solar Energy and Distributed Generation: 2015, a Year of Inflection in Brazil? IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 8, p. 3731-3737, Aug. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7786357>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7786357>. Acesso em: 10 fev. 2021.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica - Geração Distribuída. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracaodistribuida/656877. Acesso 08 de nov de 2020.

CORREIA DA SILVA, LARISSA et al. Crescimento da geração distribuída no Brasil e correlação entre os estados. Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233), [S.l.], v. 10, n. 3, p. 143-158, dez. 2020. ISSN

2318-3233. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/2373>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

DANTAS, O.; APOLÔNIO, R.; JÚNIOR, A. Potencial da geração distribuída e seu impacto na redução de emissão de CO₂: Estudo de uma micro usina fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica. Revista Engevista (ISSN 1415-7314), V.21, n.2, p. 329-340, mai. 2019. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/27299/16565>. Acesso em: 20 mai. 2021

FGV - Fundação Getúlio Vargas. Micro e Mini geração no Brasil: Viabilidade Econômica e Entraves do Setor. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/13853/micro.pdf?sequence=1>. Acesso 08 de nov. 2020.

IDEC – Instituto Brasileiro De Defesa Do Consumidor. O efeito “Robin Hood às avessas” da energia solar. Março, 2021. Disponível em: https://www.abradee.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Estudo_GD_Robin-Hood-a%CC%80s-avessas.pdf. Acesso em: 20 mai. 2021.

IRENA – International Renewable Energy Agency. Accelerating the global energy transformation. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017a. Disponível em: <https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REthinking_Energy_2017.pdf>. Acessado em: 01 mar. 2021.

IPCC. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. . [S.l: s.n.], 2012. Disponível em:< https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf>. Acesso em: 15 fev 2021.

JRC – JOINT RESEARCH CENTER. "Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)", CO₂ time series 1990-2015 per region/country. Disponível em: <<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=CO2ts1990-2014&sort=des9>>. Acessado em: 01 mar. 2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros. Brasília.2006 (Relatório técnico). Disponível em: < <http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 12/01/2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Tabela Fator Médio Mensal e Anual (tCO₂/MWh). Disponível em:< <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>. Acesso em: 10/02/2021.

MRV Engenharia inaugura condomínio com geração de energia solar fotovoltaica. MRV, 2018. Disponível em: <https://www.mrv.com.br/institucional/pt/relacionamentos/noticias/mrv-engenharia-inaugura-condominio-com-geracao-de-energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 19 fev. 2021.

ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA SUBSTITUIÇÃO DE ÔNIBUS DE COMBUSTÃO INTERNA POR ELÉTRICO EM UMA LINHA DE ÔNIBUS DO TRANSPORTE PÚBLICO DE PORTO ALEGRE

| ID 18826 |

1 Guilherme Augusto de Oliveira Rugeri, 2 Fabiano Perin Gasparin,

1Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: rugeriguilherme@gmail.com; 2Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: fabiano.gasparin@ufrgs.br

Palavras-chave: mobilidade; transporte; sustentabilidade.

Resumo

Os cenários mundiais de preocupação ecológica e de sustentabilidade tem gerado inúmeras mudanças no uso de novas tecnologias nas áreas de energia. Preocupados com sua segurança energética, os países tem enfrentado um paradigma de manter o controle em termos energéticos e ao mesmo tempo combater a insustentabilidade ambiental. Dentro desse contexto, uma das maiores contestações é a frota de veículos automotores, responsável por cerca de 40% da emissão total de CO₂ do Brasil. Existem notórias evidências que a substituição das frotas de ônibus a combustão por ônibus puramente elétricos causam uma grande redução no impacto ambiental, com uma diferença de custo cada vez menor. No entanto, a incerteza com relação aos custos e incentivos, presentes e futuros, ainda faz com que os responsáveis pela eventual mudança sejam conservadores e mantenham o a operação baseada nos ônibus a diesel. Este estudo tem como objetivo analisar a melhor alternativa para uma linha de ônibus da cidade de Porto Alegre, comparando sua execução em um ônibus diesel com um equivalente puramente elétrico, para um período de 10 anos, partindo dos dias atuais. Será avaliado também a viabilidade da inclusão de um sistema fotovoltaico no sistema, para abatimento dos novos custos com energia, do ônibus puramente elétrico. Para isso, foi feito o levantamento da linha de ônibus D43 de Porto Alegre, sua rota, receita média de acordo com o número médio de passageiros e os custos envolvidos na execução da linha com cada um dos modelos propostos. Foi feita uma análise dos custos e receitas totais ao longo dos 10 anos propostos, que indicaram valores finais similares para os três modelos, nos parâmetros propostos, durante o período. Conclui-se, com este trabalho, que os resultados tendem a ser similares nos 10 primeiros anos após a ruptura do modelo atual, mas favoráveis ao ônibus elétricos no período posterior, uma vez que a infraestrutura já foi adequada. A inclusão do sistema fotovoltaico não apresentou maiores

receitas ao longo dos 10 anos, apresentando exclusivamente a vantagem de congelar o custo da energia elétrica. Cabe ressaltar também o maior tempo de retorno do ônibus elétrico, que faz com que normas vigentes de substituição de frota tornem-se impeditivas e precisem ser revistas.

Introdução

A qualidade de vida da população e sua sustentabilidade é assunto em alta nos dias atuais. Nesse contexto, um dos questionamentos mais recorrentes está na mobilidade urbana, onde o grande volume de pessoas e veículos envolvidos demanda estudos e planejamento, para um serviço efetivo e de qualidade. O grande número de cidadãos habitando grandes cidades, tornou o transporte público, responsável pelo deslocamento de expressiva parte dessa população, um fator relevante na política e desenvolvimento das metrópoles ao longo dos anos. No entanto, apesar de suprir as necessidades básicas, dúvidas tornaram-se recorrentes, principalmente em relação ao impacto ambiental causado pelo atual modelo de serviço - sabidamente gerador de gases poluentes e materiais particulados, emitidos pelo processo de combustão interna dos motores diesel. Segundo Leurent e Windish (2011), o uso dos veículos automotores como principal meio de transporte acarretou diversas consequências para as cidades: acidentes, poluição sonora, poluição do ar e emissões de gases de efeito estufa pelo consumo de combustíveis fósseis, cada vez mais escassos e custosos.

É possível perceber que os impactos negativos do transporte prejudicam o desenvolvimento sustentável, e estão diretamente associados à combustão interna dos motores. Uma das principais formas de amenizá-los é a mudança para motores movidos por uma energia mais limpa e menos poluente, como é o caso da eletricidade. Os veículos com tração elétrica, como alternativa aos de combustíveis fósseis, têm se expandido ao longo dos últimos anos, principalmente por apresentarem uma solução ecológica para o problema, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa e poluentes atmosféricos, como o material particulado e os óxidos de nitrogênio. Baseado, também, em outros projetos de mobilidade urbana com ônibus elétricos, será feita uma análise da mudança para uma linha de ônibus, contextualizada com a realidade local.

Porto Alegre, capital gaúcha, possui segundo dados do IBGE (2020), 1.488.252 habitantes, em um território de 495.390 km², com uma frota de automóveis de 608.095 carros, 5.156 ônibus e 2.340 micro-ônibus. A empresa responsável por regular e fiscalizar o transporte público da capital gaúcha é a EPTC - Empresa Pública de Transporte e Circulação, criada em 1998, atendendo a uma tendência mundial de municipalização da mobilidade urbana. Segundo dados da própria empresa (2021), o

transporte público da cidade é atendido por 429 lotações, 623 veículos escolares, 3.928 táxis e 1.704 ônibus.

Este trabalho tem como objetivo a análise de um ônibus atuante na linha D43, da cidade de Porto Alegre, avaliando a substituição de um veículo atual, à combustão, por um similar puramente elétrico. Serão examinados os custos de operação envolvidos, as implicações na rede e infraestrutura de transportes e a viabilidade desta implantação, considerando questões econômicas, ambientais e sociais. Será analisado, ainda, a necessidade de carregamento das baterias durante o itinerário, além do uso de um sistema fotovoltaico para atenuar os custos com energia e tornar a operação sustentável.

Porto Alegre é amplamente reconhecida como uma das capitais mais verdes do Brasil, por ser uma das cidades que possui mais parques e árvores por habitante, de acordo com dados do IBGE. As pesquisas do programa Qualionibus, que analisam a qualidade do transporte público do município, apontam que grande parcela da população do município depende de linhas de ônibus. A ausência de infraestrutura de metrô torna o sistema de transporte público diretamente dependente dos ônibus. O trânsito e o congestionamento, além de causarem cada vez mais poluição, geram insatisfação da população. Portanto, a justificativa deste trabalho é a melhoria das políticas de transporte público, da eficiência energética, ambiental e da qualidade de vida da população de Porto Alegre.

Breve Histórico dos Veículos Elétricos

Segundo Baran e Lengley (2011), apesar de visto por muitos como um avanço tecnológico, os veículos elétricos não são novidade no mercado, sendo, no princípio dos veículos automotores, um forte candidato ao monopólio da produção. Segundo Guenther e Padilha (2016), o mercado de veículos elétricos em 1900 representava cerca de 28% do total comercializado. No início do século XX, três tecnologias estavam entre as principais concorrentes a dominar o mercado de automóveis: elétrica, vapor e combustão. De acordo com Baran e Lengley (2011), em 1903, a cidade de Nova Iorque possuía quatro mil automóveis registrados, sendo 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos. Porém, a partir dos anos 30, os veículos elétricos entraram em forte queda, tornando-se preteridos do mercado, especialmente em razão do fenômeno do Fordismo, que barateou a produção dos veículos, da invenção da partida elétrica em 1912, que eliminou a partida a manivela, da descoberta de petróleo nos EUA e da demanda por veículos capazes de percorrer maiores distâncias sem abastecimento - para circular nas rodovias que interligavam as cidades.

A baixa autonomia era um dos fatores que, à época, representava um grande entrave para os veículos elétricos, se comparado aos de combustão interna. Segundo Baran e Lengley (2011) poucas

peessoas aventuravam-se pelas estradas do interior nos primórdios do automóvel, pois não havia infraestrutura elétrica nem gasolina à disposição. No entanto, com a maior facilidade em dispor e transportar combustíveis líquidos, os combustíveis fósseis logo foram difundidos e comercializados, até mesmo em pequenos estabelecimentos comerciais, e, como o veículo de combustão interna apresentava melhor autonomia, em relação à distância percorrida com um único abastecimento, este modelo viabilizou as viagens intermunicipais, à época. Além disso, segundo os autores, a manutenção dos primeiros automóveis a gasolina, dada sua simplicidade, era realizada até mesmo por profissionais especializados em conserto e manutenção de bicicletas.

Portanto, apesar de conhecidos, os veículos elétricos não conseguiram superar as limitações tecnológicas da época, e o período inicial do século XX definiu a forma de propulsão dos veículos automotores. Devido aos fatores citados, foi consenso estratégico e comercial que o meio energético utilizado seria o dos combustíveis fósseis, e a propulsão se daria através da combustão interna. Assim foi até a década de 70, quando, segundo o 1º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica (2020) as primeiras medidas efetivas para utilização dos veículos elétricos começam a ser tomadas, inicialmente nos países mais desenvolvidos, como Estados Unidos, Japão e países europeus. Segundo Stangueto e Silva (2015), na década de 70 surgem os primeiros estudos e preocupações dos impactos negativos dos veículos de combustão interna, com relação ao meio ambiente e a escassez dos combustíveis fósseis. Foi a partir de então, quando a opinião pública passou a abordar os problemas ambientais, que os automóveis elétricos voltaram a atrair atenção dos grandes fabricantes. Até a década de 80, apesar do crescente estudo e apreensão, os veículos elétricos não conseguiram chegar às linhas de produção e disputar com veículos à combustão, por ainda não apresentarem competitividade e políticas de incentivo ao seu uso.

No entanto, a partir da década de 90, inicia-se uma mudança de direção e medidas mais significativas começaram a surgir, como a implementação das primeiras normas de emissão zero, na Califórnia, e a exposição dos problemas dos combustíveis fósseis e a necessidade de redução e transição para fontes renováveis, através da Agenda 21. Em 1992, a União Europeia também corroborou para esse cenário de mudanças ao definir a política de transportes pela expressão: “uma estratégia para mobilidade sustentável”, onde a inclusão dos veículos elétricos era vista como uma das condições mais importantes do planejamento futuro.

Num contexto mais recente, é possível observar convergência política e social para um cenário automotor mais sustentável. Neste aspecto, os países desenvolvidos seguem na vanguarda: é citado por Buzatto et al. (2019), por exemplo, que Alemanha conta com metas para encerrar a produção de veículos de combustão interna até 2030, a França pretende acabar com a venda de veículos a gasolina ou diesel até 2040. Além disso, as medidas firmadas no Acordo de Paris, em 2016, norteiam as

direções globais de redução na emissão de gás carbônico (CO₂) a partir de 2020. É possível concluir, portanto, o fim do apogeu dos veículos de combustão interna e a crescente busca por soluções sustentáveis.

Ônibus Elétricos no Brasil

A utilização de veículos elétricos possui histórico no Brasil, com casos bem-sucedidos e outros não. Com relação aos veículos pesados, escopo deste estudo, já era possível observar há algum tempo o uso dos Trólebus - um conjunto no qual um ônibus é conectado por dois cabos à rede de energia elétrica acima dele que, por meio de contatos elétricos rolantes, transmitem energia elétrica, convertida em energia mecânica capaz de tracionar o veículo. O fato de receberem energia diretamente dos cabos superiores, que demarcavam as linhas, configurava vantagem aos trólebus, que tinham maior autonomia em relação aos bondes movidos sobre trilhos, podendo desviar obstáculos e encostar nos terminais para embarque/desembarque de passageiros. Os trólebus, totalmente elétricos, não possuíam baterias, conectando-se diretamente à rede de energia.

De acordo com Guenther e Padilha (2016), a implantação dos trólebus no Brasil iniciou-se em 1949, na cidade de São Paulo, sendo rapidamente replicada por outras cidades, como Rio de Janeiro, Porto Alegre, Belo Horizonte e Fortaleza nos anos subsequentes. Percebendo a boa aceitação e demanda do mercado, empresas brasileiras nacionalizaram a produção. No entanto, a partir dos anos 90, novos direcionamentos econômicos e políticos deixaram em segundo plano os trólebus, fazendo com que continuasse usual em raros municípios. Cabe ressaltar que, apesar da crescente implementação e estudos com ônibus puramente elétricos (VEBs), os trólebus retratam uma tecnologia consolidada e ainda representam a ampla maioria da frota de ônibus elétricos do Brasil.

Os indicativos de futuro apontam para um significativo crescimento dos ônibus puramente elétricos, com empresas já consolidadas no Brasil neste segmento. A empresa Eletra é responsável pela implantação de diversos ônibus elétricos funcionais em várias cidades do Brasil, principalmente no estado de São Paulo, além de projetos embrionários como o ônibus elétrico da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis. A empresa chinesa líder mundial do segmento, BYD, possui instalações nacionais e fabrica modelos de ônibus que circulam no país. Diversas empresas nacionais e internacionais prometem competitividade neste promissor cenário.

No século atual, destacam-se projetos de incentivo governamental como o Programa Ecofrota e o Programa Taxis Híbridos, em São Paulo. A cidade de Curitiba também apresenta um projeto para implantação de ônibus elétrico em sua frota. Diversos municípios do interior de São Paulo também têm adotado projetos pilotos e até mesmo parte da frota por veículos elétricos, como é o caso de

Ribeirão Preto e Campinas. Em Florianópolis, a UFSC implantou uma linha de ônibus totalmente elétrica interligando dois *campi* da universidade, através de um *retrofit* de ônibus elétrico, abastecido em terminais contendo sistemas fotovoltaicos.

Perspectivas: facilidades e dificuldades para implantação dos veículos elétricos no Brasil

Diversos são os tópicos a serem discutidos para implantação dos veículos elétricos no Brasil, sendo que alguns apresentam dificuldades e outros boas perspectivas para esse tipo de veículo. Em todos os casos, porém, a pressão por um maior cuidado ecológico e preservação ambiental é o fator propulsor das discussões. Segundo o Balanço Energético Nacional, o setor de transporte rodoviário é o que, individualmente, mais consome energia no Brasil, com 26,5% do total (EPE, 2012). Isso faz com que, de acordo com Castro e Ferreira (2013), o setor seja o principal responsável pela produção de gás carbônico (CO₂) no país, representando 40,9% do total gerado, com valores similares aos encontrados na União Europeia. De acordo com Stranguetto e Silva (2015), como a geração de CO₂ tem relação direta com a tecnologia automotiva empregada, as políticas ambientais que buscam reduzir este composto tem se mostrado primordiais no avanço de tecnologias mais limpas para o setor e, como alternativa para esse problema, destacam-se os veículos elétricos.

As dificuldades para a difusão dos veículos elétricos se dão por vários motivos. De acordo com Castro e Ferreira (2013), as tecnologias empregadas na indústria automotiva brasileira estão, historicamente, mais relacionadas à segurança energética do país do que à eficiência energética. Outro motivo representativo é o desincentivo tributário, pois, por serem em sua maioria importados (inclusive de países com acordos com o Brasil, que diminui a tributação), os veículos elétricos não possuem categoria específica na TIPI – Tabela de Imposto sobre Produtos Industrializados, o que faz com que muitas vezes sejam tributados na categoria máxima, refletindo um preço mais alto para o importador.

Tipos de Veículos Elétricos

O cenário atual da indústria e desenvolvimento mundial converge para três principais tipos de veículos elétricos fabricados e comercializados. São eles:

- Veículos Híbridos à gasolina (VEH): Os veículos híbridos possuem um motor elétrico auxiliar, acionado por um banco de baterias, além do motor principal, movido à combustão interna. Existem duas configurações para o sistema, em série ou em paralelo, onde o motor secundário pode, respectivamente, alimentar as baterias e/ou o motor elétrico ou trabalhar de forma conjunta. A vantagem desse sistema com relação aos modelos tradicionais a combustão é a significativa

economia de combustível. A desvantagem destaca-se no preço inicial, muitas vezes ainda não aceito pelos compradores.

- Veículos Híbridos de *plug in* (PHEV): Os veículos híbridos apresentam motor de combustão interna e um segundo sistema de propulsão elétrica. Este sistema secundário permite carregamento na tomada, e possui diferentes métodos de fornecimento de energia para o veículo, que vão desde o veículo sendo tracionado puramente pela combustão interna até uma propulsão totalmente oriunda do motor elétrico. Os veículos híbridos são mais eficientes energeticamente que os veículos tradicionais, porém inferiores no rendimento se comparados aos veículos puramente elétricos. São considerados, em resumo, uma alternativa intermediária entre os veículos de combustão interna e os puramente elétricos.

- Veículos elétricos a bateria (BEV): Escopo deste estudo, são veículos puramente elétricos, caracterizados por dependerem totalmente de carregamento elétrico externo e serem tracionados a partir da energia armazenada em um banco de baterias, contando, ainda, com um sistema de carregamento regenerativo das baterias em frenagens. Do ponto de vista energético, são os veículos mais eficientes e apresentam o menor custo por quilômetro rodado com energia. Possuem um grande banco de baterias, que resultam em perda de área útil de carga. Diferentes tipos de baterias podem ser utilizados, porém tem, em comum, o fato não conseguirem se comparar, em autonomia (em distância), aos veículos convencionais. Tal fato que é apontado em diversos estudos como um limitador de sua implantação, necessitando uma adequação da infraestrutura de transporte utilizada.

Baterias

O banco de baterias é um tópico fundamental para implantação dos ônibus elétricos, pois de acordo com estudos este representa entre 40 e 50% do valor total do veículo (C40/ISSRC, 2013). Embora os veículos elétricos possuam baterias de diversas composições, as baterias do ônibus em estudo são de íons de lítio, os principais modelos empregados para este fim. As baterias de lítio diferem das demais por não apresentarem reação de oxirredução. Como o lítio é um elemento pequeno e leve, as baterias à base de lítio apresentam maiores níveis de potência e energia por unidade de massa, com densidade energética na ordem de 100 a 150 Wh/l e energia específica em torno de 120Wh/kg. A energia específica dessas baterias é aproximadamente duas vezes maior em comparação à energia das baterias de níquel metal hidreto (NiMH) e quatro vezes maior em relação aos níveis da bateria de chumbo ácido (PbA). Cabe ressaltar que, segundo Castro e Ferreira (2013), mesmo os veículos elétricos já em comercialização utilizam baterias distintas umas das outras.

Ônibus convencional x ônibus elétrico

O uso do modal ônibus para transporte coletivo em massa é um dos mais bem sucedidos projetos de transporte público a nível mundial. Encontra-se difundido em todos os lugares do mundo e possui vantagens como fácil implantação, flexibilidade de rota, alto índice de passageiros, baixo custo de infraestrutura para sua operação e mão de obra abundante. No entanto, os últimos anos tem sido marcados pela crescente concorrência dos ônibus elétricos, que prometem não onerar tanto os custos de implantação e infraestrutura, além de combater problemas notórios como excesso de ruído, geração de gases poluentes e material particulado.

Os ônibus puramente elétricos vêm sendo introduzidos nas grandes cidades, sendo caracterizados por funcionarem exclusivamente a partir da energia armazenada em seu banco de baterias, normalmente localizadas na parte traseira e no teto dos veículos. Nos projetos atuais, é possível perceber que a autonomia, entrave desses veículos outrora, já é considerado um problema solucionável. Dados obtidos de ônibus elétricos atuantes em São Paulo, por exemplo, apontam para veículos com autonomia de até 200 km. Dependendo do dimensionamento adotado, estes veículos podem ser carregados uma única vez, no período de repouso, ou possuir também cargas rápidas intermediárias, que podem reduzir o tamanho do banco de baterias. Entre as principais vantagens deste modal, destacam-se o ruído quase inexistente do motor, a emissão nula de gases poluentes durante a operação, maior torque em baixas velocidades quando comparado aos ônibus diesel e baixo custo de manutenção e abastecimento entre todos os modais de ônibus disponíveis no mercado. De acordo com Guenther e Padilha (2016), os motores elétricos apresentam eficiência na faixa de 90% ou mais, superando em muito a eficiência média dos motores a combustão, de cerca de 30%. Além da sua alta eficiência, têm uma vida útil muito maior que os outros motores, por apresentarem somente uma parte móvel - o rotor, ou seja, sua manutenção é menos frequente e envolve menos itens.

Impacto ambiental do transporte

A Resolução CONAMA n. 001, publicada no dia 23 de janeiro de 1986, define impacto ambiental como: *qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais.*

De acordo com Guenther e Padilha (2016), a matriz energética mundial sempre teve como base combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás. No entanto, desde o século passado, tornou-se um

problema evidente o gás carbônico (CO₂) gerado por tal prática. Segundo Guenther e Padilha (2016), em São Paulo, idosos com idade superior a 65 anos têm riscos de mortalidade elevados em até 13% para cada aumento de 100 mg/m³ de material particulado.

Mundialmente utilizada, a norma de controle e emissão de poluentes da União Europeia vem sendo base para guiar os requisitos que os veículos devem cumprir. Criada em 1988, iniciando com a Euro 0, a série de medidas limita o valor máximo de emissões de poluentes que o veículo pode atingir, contando com especificações e limites para veículos a diesel e gasolina. São controlados pela norma os óxidos de azoto, monóxido de carbono, a parte do combustível com queima incompleta na combustão e o material particulado, originado no escapamento do veículo. Desde sua criação, vigoraram os Euro 1,2,3,4,5 até o 6 criado em janeiro de 2014 que está em vigor nos dias atuais (sendo contados em números decimais para veículos leves e romanos para os pesados). Os requisitos exigidos tem evoluído ao longo do tempo e contam com as novas tecnologias para tornar o uso dos veículos a combustão cada vez menos agressivo. Entre as medidas que tornam possíveis a redução da poluição dos veículos, destacam-se a redução do consumo de combustível, que reduz as emissões de gases contaminantes e CO₂, e a aplicação de sistemas de tratamento de gás (FAP, catalisadores SCR) para controlar os contaminantes formados na combustão.

No Brasil, a norma regulamentadora, denominada Proconve, atualmente na fase 7, tem como base o padrão europeu, porém com um grande período de defasagem. A fase 7 da regulamentação brasileira exige apenas o requerido na Euro 5, tendo previsão de atualizar para o requerido na Euro 6 apenas em 2022 (A Euro 6 está em vigor na Europa desde 2014).

Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da delimitação do tema e de revisão de literatura dos aspectos abordados, através de artigos, dissertações e informações públicas e comerciais, a respeito dos ônibus e sua tecnologia de abastecimento. Posteriormente, foram levantados dados e informações públicas de Porto Alegre, da concessão de transporte público do município e das particularidades da linha de ônibus D43. Definiu-se, então, os elementos utilizados e os custos envolvidos. Foram aferidos cronograma, itinerário e tempo parado em terminais da linha em questão. Na sequência, foi definido um modelo de ônibus diesel atuante na linha como padrão, buscando no mercado modelos equivalentes, elétrico e convencional. Para a simulação do veículo elétrico, houve a definição do modelo, especificando suas particularidades, custos e, ainda, o dimensionamento e a alocação dos carregadores necessários, foi realizada a análise do tempo parado dos veículos nos terminais, da distância percorrida diariamente e do tempo em repouso.

Finalmente, foi dimensionado e orçado um sistema fotovoltaico, visando abater os novos custos com energia. Por fim, fez-se a verificação da viabilidade econômica das possibilidades levantadas, demonstrando as vantagens e desvantagens de cada modelo e seus resultados econômicos e ambientais, entre os anos 0 e 10. A Figura 1 apresenta um fluxograma que ilustra as etapas da metodologia aplicada no estudo.

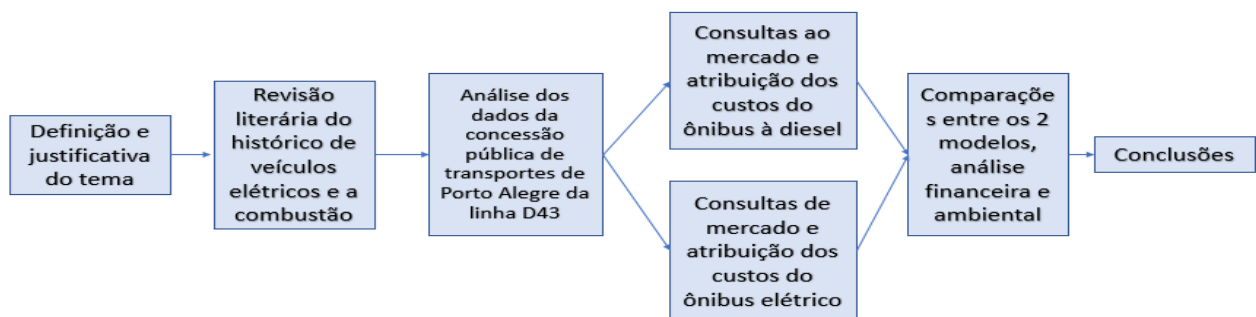


Figura 1: Fluxograma da metodologia empregada na análise. Fonte: autor (2021)

Resultados

A linha de ônibus D43, também conhecida como universitária, é operada pela empresa Carris, na Bacia Pública do município de Porto Alegre. A linha que interliga o centro histórico da cidade à duas das principais universidades locais, sendo, portanto, uma das linhas da cidade, especialmente pelo grande número de estudantes que a utiliza. A linha tem atuação com frota normal de segunda a sexta-feira, e sábado, com frota reduzida. A linha opera em dois sentidos, conhecidos como bairro/centro e centro/bairro. No sentido bairro/centro, tem 14,87 km de extensão, contando com 21 paradas e tempo de deslocamento total, sem trânsito, de cerca de 31 minutos, enquanto no sentido centro/bairro sua extensão é de 16,01 km, com 22 pontos de parada e tempo de viagem, sem trânsito, de 36 minutos.



Figura 2: Itinerário da linha D43 em Porto Alegre. Fonte: adaptado de EPTC (2018)

A quantidade de ônibus que opera na linha é variável, de acordo com a demanda. No entanto, dados da época da concessão pública indicam 111 viagens por dia no sentido centro/bairro e 104 no sentido bairro/centro, além de 15 viagens em cada um dos sentidos aos sábados. Tais viagens transportam, em média, 7.583 passageiros por dia, de acordo com os dados da licitação.

Neste estudo foram utilizados os mesmos horários para os dois modelos, que são os horários oficiais da linha segundo a prefeitura de Porto Alegre. Admite-se que o veículo sai da garagem e começa a operar a partir das 6h15min, no sentido bairro-centro e, após chegar, retorna na linha no sentido centro-bairro. Os horários de saídas e partidas foram definidos, a partir da primeira viagem, como sendo a viagem imediatamente posterior ao fim da viagem executada, conforme a Tabela 1.

Nota-se, no cenário descrito, que o ônibus elétrico não teria autonomia para completar o ciclo diário sem uma recarga, tendo em vista que os cerca de 200 km de autonomia que possui (considerando o carregamento total, perfil altimétrico do percurso, carregamento médio e uso de ar condicionado) findariam por volta das 15h10min. No entanto, se contabilizado o período de espera do veículo entre viagens, é possível perceber que existem 3 horas e 18 minutos do veículo parado nos terminais do centro e do bairro, sendo 1h e 25min no terminal central e 1h e 53min no terminal do bairro, que poderiam ser utilizados para o carregamento.

Neste cenário, em princípio, seria viável o carregamento nos intervalos entre as viagens, quando o ônibus está parado no terminal do bairro, pois com o carregador adotado, uma carga de 1h

e 20 minutos seria suficiente para completar o percurso diário. Portanto, é prevista uma única estação de carregamento, com a maior capacidade de carga disponível no mercado atualmente – 150 kW.

Tabela 1: Horários das viagens da linha D43 utilizados para a análise proposta.

Destino	Hora saída	Hora cheg.	Distância	Tempo Desl	Desl S.t.	Tempo livre
BC	06:15:00	06:52:00	14.87	00:37:00	00:31:00	00:06:00
CB	06:52:00	07:35:00	16.01	00:43:00	00:36:00	00:07:00
BC	07:35:00	08:12:00	14.87	00:37:00	00:31:00	00:06:00
CB	08:12:00	09:05:00	16.01	00:53:00	00:36:00	00:17:00
BC	09:05:00	09:45:00	14.87	00:40:00	00:31:00	00:09:00
CB	09:45:00	10:45:00	16.01	01:00:00	00:36:00	00:24:00
BC	10:45:00	11:25:00	14.87	00:40:00	00:31:00	00:09:00
CB	11:25:00	12:10:00	16.01	00:45:00	00:36:00	00:09:00
BC	12:10:00	12:50:00	14.87	00:40:00	00:31:00	00:09:00
CB	12:50:00	13:50:00	16.01	01:00:00	00:36:00	00:24:00
BC	13:50:00	14:30:00	14.87	00:40:00	00:31:00	00:09:00
CB	14:30:00	15:10:00	16.01	00:40:00	00:36:00	00:04:00
BC	15:10:00	15:55:00	14.87	00:45:00	00:31:00	00:14:00
CB	15:55:00	16:31:00	16.01	00:36:00	00:36:00	00:00:00
BC	16:30:00	17:15:00	14.87	00:45:00	00:31:00	00:14:00
CB	17:15:00	17:51:00	16.01	00:36:00	00:36:00	00:00:00
BC	17:50:00	18:35:00	14.87	00:45:00	00:31:00	00:14:00
CB	18:34:00	19:10:00	16.01	00:36:00	00:36:00	00:00:00
BC	19:10:00	19:55:00	14.87	00:45:00	00:31:00	00:14:00
CB	19:54:00	20:30:00	16.01	00:36:00	00:36:00	00:00:00
BC	20:30:00	21:10:00	14.87	00:40:00	00:31:00	00:09:00
TOTAIS			323.67			03:18:00

Fonte: Adaptado de Prefeitura de Porto Alegre (2021)

Custos Envolvidos na Operação com Ônibus a Diesel

Conforme os dados da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, existem diversos tipos de veículos em atuação na linha D43. Para esta análise, optou-se pelo modelo Volvo B7R low entry, com ar condicionado, características de 78% dos veículos da linha. Segundo os dados públicos, o valor do veículo à época da licitação, em 2015, era de R\$ 479.000,00. Para obtermos valores atualizados, foi aplicado sobre esse valor o montante o IGPM acumulado durante o período, o que gerou o valor de R\$ 789.385,00, para o mesmo veículo novo, nos dias atuais.

De acordo com os dados disponibilizados pela Prefeitura de Porto Alegre, percebe-se que os custos fixos, à época da licitação, representavam cerca de 75% dos custos totais do serviço público. Mantendo os percentuais de cada custo e atualizando os dados disponíveis pelo município, concluiu-se que os custos fixos em função do quilômetro rodado são de R\$ 7,12/km. Nesses custos, incluem-

se as despesas com ativos, depreciação de ativos, remuneração de ativos, despesas administrativas e seguros.

Custo Envolvido com a Operação do Veículo Elétrico

Segundo informações obtidas junto à empresa BYD, o custo do veículo elétrico do modelo D9W, compatível em características com o modelo a diesel adotado, é de R\$ 1.590.000,00 para chassi, ar condicionado e banco de baterias, além da estimativa de R\$ 320.000,00 de custo para a carroceria, totalizando R\$ 1.910.000,00.

Para simular o carregamento do ônibus elétrico, serão necessários pontos de carregamento na garagem da empresa, para carregamento no período noturno, e de um carregador de maior capacidade no terminal, tendo em vista que somente o carregamento noturno não é suficiente para atender a demanda diária.

Diante disso, foi realizada uma consulta ao mercado, cotando os valores dos carregadores para a garagem e terminal. Para a garagem foi considerado o carregador fornecido pela própria BYD com custo cotado em R\$ 65.000,00 e uma carga completa entre 4 e 5 horas. Para o terminal do bairro, adotado nesta simulação, foi considerado o tempo disponível para o carregamento diurno entre as viagens, como sendo de 1 hora e 53 minutos, tempo suficiente para carga (de 1 hora e 20 minutos) requerida para a conclusão do percurso. O modelo escolhido, para o carregador do terminal é o WEG WEMOB-S-150-E-H-1CS, com 150kW de potência e custo de R\$ 314.793,65.

Sistema Fotovoltaico

De acordo com os dados de consumo de energia elétrica média durante a operação (1,6 kWh/km rodado), é possível dimensionar um sistema fotovoltaico, que, conectado à rede elétrica, fosse capaz de fornecer a energia necessária para a operação em base anual. O sistema de compensação utilizado para este caso seria o de autoconsumo remoto, garantido pela norma regulamentadora RN 482 da ANEEL (2012).

Para tal, foi considerado a produtividade fotovoltaica anual típica, para Porto Alegre, de 1300 kWh/kWp, equivalente a uma produtividade diária média de 3,5616 kWh/kWp.

$$P_{nominal/km} = \frac{1,6 \text{ kWh}}{km} \times \frac{kWp}{3,5616 \text{ kWh}} = 0,449 \frac{kWp}{km} = 449 \frac{Wp}{km \text{ diário}}$$

Considerando, para este projeto, o uso de módulos fotovoltaicos com 340Wp, com área de 1,94 m² por módulo, podemos calcular o número de módulos em função da quilometragem percorrida diariamente.

$$\text{num_modulos}_{\text{por km diário}} = \frac{449 \text{ Wp}}{\text{km}} \times \frac{1}{340 \text{ Wp}} = 1,32 \frac{\text{módulos fotovoltaicos}}{\text{km rodado diariamente}}$$

Ou seja, nas condições do estudo, com uma quilometragem diária de 323,67 km, seriam necessários 428 módulos fotovoltaicos, demandando uma área de 829 m² para equivaler ao gasto energético do ônibus. Além disso, estimando o custo usual de R\$ 5,50 por Wp instalado nos sistemas fotovoltaicos, o valor total do sistema é de R\$ 825.000,00.

Cabe ressaltar que o dimensionamento deste sistema fotovoltaico visa abater totalmente os custos com o deslocamento do veículo elétrico, que por estar compensando a energia consumida, consegue fixar o custo energético, trazendo mais segurança para o projeto.

Custos variáveis

Custo do combustível

Segundo consulta ao site da Agência Nacional do Petróleo - ANP, foi possível encontrar o preço médio de R\$ 4,318 por litro de diesel S10, no município de Porto Alegre. No entanto, considerando o grande volume de combustível comprado pela empresa responsável pela linha, assumiremos o custo mínimo informado pela ANP, de R\$ 3,999 por litro.

Custo da energia elétrica

Em consulta à concessionária de energia local, dadas as potências envolvidas nos terminais de carregamento, a unidade consumidora seria do tipo A, de consumidores de média e alta tensão, classe 4, com tensão de fornecimento entre 13,8 e 25 kV. Neste caso, o custo da energia no horário fora de ponta é de R\$ 0,34222 por kilowatt hora (kWh), sem a incidência de impostos. O preço final, com a incidência de impostos, é calculado a partir da equação abaixo:

$$\text{Preço final (R\$)} = \frac{\left(\frac{\text{Preço homologado (R\$)}}{1 - \text{PIS}(\%) - \text{COFINS}(\%)} \right)}{1 - \text{ICMS}(\%)}$$

Portanto, calculou-se que o valor da energia consumida será de R\$ 0,5006/kWh.

Custos totais

Em face das ponderações acima, com as receitas e despesas descritas, o resumo dos custos é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Custos totais para a simulação realizada.

CUSTOS	ÔNIBUS DIESEL	ÔNIBUS ELÉTRICO	ÔNIBUS ELÉTRICO C/FV
VALOR DO ÔNIBUS	R\$ 789.385,00	R\$ 1.910.000,00	R\$ 1.910.000,00
CUSTOS COM COMBUSTÍVEL/ENERGIA/DIA	R\$ 606,98	R\$ 259,23	R\$ 0,00
MANUTENÇÃO E PEÇAS/DIA	R\$ 139,18	R\$ 97,10	R\$ 97,10
OUTROS CUSTOS	R\$ 2.304,53	R\$ 2.304,53	R\$ 2.304,53
CUSTO ANUAL POR ONIBUS	R\$ 954.407,38	R\$ 832.450,53	R\$ 751.350,38
VALOR RESIDUAL DO ONIBUS ANO 5	R\$ 473.636,00	R\$ 1.098.250,00	R\$ 1.098.250,00
VALOR RESIDUAL DO ONIBUS ANO 10	R\$ 157.877,00	R\$ 286.500,00	R\$ 286.500,00
CUSTOS CARREGADORES GARAGEM	R\$ 0,00	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00
CUSTO CARREGADORES TERMINAL	R\$ 0,00	R\$ 314.793,00	R\$ 314.793,00
CUSTO SISTEMA FOTOVOLTAICO 150KW	R\$ 0,00	R\$ 825.000,00	R\$ 825.000,00

Fonte: autor (2021)

*valores calculados baseados em: valor do diesel R\$ 3,99/l; valor da energia elétrica R\$ 0,5006/kWh; ônibus trabalhando 323,67 km/dia; outros custos estimados em R\$7,12/km; custo de manutenção e peças de R\$ 0,30/km no ônibus elétrico (baseado em dados do estudo do c40) e R\$ 0,42/km no diesel (baseado em dados da EPTC); valor residual no décimo ano de 20% do valor do veículo, para o ônibus diesel e 30% do valor das baterias, para o ônibus elétrico.

Resultados financeiros

Alocando os custos apresentados na Tabela 2, ao longo dos 10 anos propostos por este estudo, obtém-se os resultados apresentados na Tabela 3, de receitas e despesas totais e acumuladas do período. A Figura 3 apresenta a evolução financeira ao longo do tempo para os três cenários.

Tabela 3: Receitas e despesas acumuladas dos anos 0 a 10.

ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RECEITA DIESEL		R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.823.790,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.823.790,07
DESPESA DIESEL	R\$ 789.385,00	R\$ 954.407,38	R\$ 954.407,38	R\$ 954.407,38	R\$ 954.407,38	R\$ 1.743.792,38	R\$ 954.407,38	R\$ 954.407,38	R\$ 954.407,38	R\$ 954.407,38	R\$ 954.407,38
TOTAL DIESEL	-R\$ 789.385,00	-R\$ 393.638,31	R\$ 2.108,37	R\$ 397.855,06	R\$ 793.601,75	R\$ 873.599,44	R\$ 1.269.346,12	R\$ 1.665.092,81	R\$ 2.060.839,50	R\$ 2.456.586,18	R\$ 3.325.968,87
RECEITA ELÉTRICO		R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.636.654,07
DESPESA ELÉTRICO	R\$ 2.289.793,00	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53	R\$ 832.450,53
TOTAL ELÉTRICO	-R\$ 2.289.793,00	-R\$ 1.772.089,46	-R\$ 1.254.385,93	-R\$ 736.682,39	-R\$ 218.978,85	R\$ 298.724,69	R\$ 816.428,22	R\$ 1.334.131,76	R\$ 1.851.835,30	R\$ 2.369.538,83	R\$ 3.173.742,37
RECEITA ELÉTRICO C/FV		R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.350.154,07	R\$ 1.636.654,07
DESPESA ELETR C/FV	R\$ 3.114.793,00	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38	R\$ 751.350,38
TOTAL ELÉTRICO C/FV	-R\$ 3.114.793,00	-R\$ 2.515.989,32	-R\$ 1.917.185,63	-R\$ 1.318.381,95	-R\$ 719.578,26	-R\$ 120.774,58	R\$ 478.029,11	R\$ 1.076.832,79	R\$ 1.675.636,48	R\$ 2.274.440,16	R\$ 3.159.743,85

Fonte: autor (2021)

*receita calculada com a média dos passageiros usuários da linha D43, multiplicada pelo ticket médio pago por passageiro, de acordo com dados da licitação pública de Porto Alegre.

A figura 3 demonstra, através de um gráfico, os dados coletados na tabela 3:

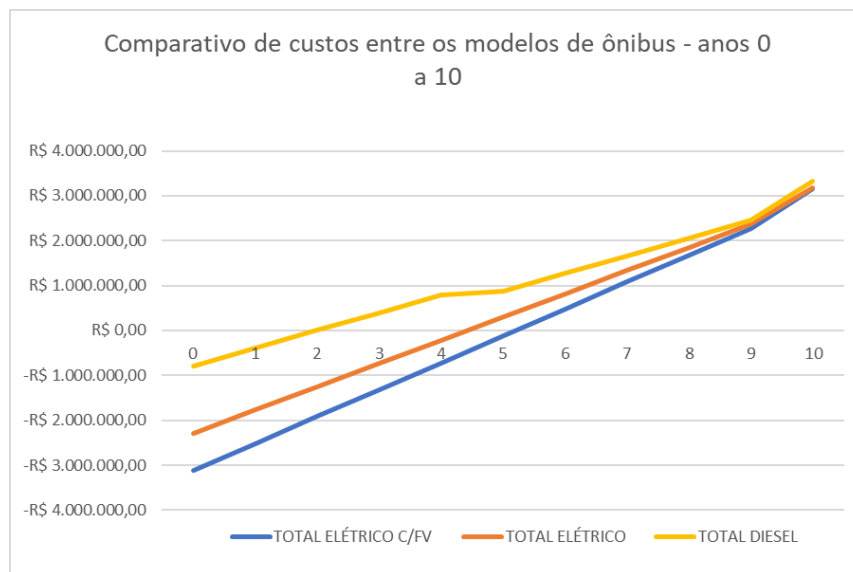


Figura 3: Valores acumulados dos anos 0 a 10, para os modelos simulados. Fonte: autor (2021)

Análise Qualitativa da Viabilidade

É possível perceber nos dados apresentados, que os resultados finais das três simulações diferem pouco entre si, apresentando menos de 5% de diferença nos resultados finais, o que, dada a variabilidade do cenário, pode ser considerado igual.

No entanto, alguns aspectos devem ser ressaltados: primeiramente, que o estudo não levou em consideração a inflação e os reajustes que venham a ocorrer durante o período estipulado. Porém, dos três sistemas, o que apresenta maior segurança econômica é o modelo elétrico com uso de sistema fotovoltaico, pois o valor gasto na mobilidade do veículo fica estático, não sujeito às variações de custo dos combustíveis e da energia elétrica, que usualmente apresentam reajustes superiores à inflação.

Cabe ressaltar, ainda, que o uso de um sistema fotovoltaico para reduzir o consumo de energia não precisa, necessariamente, abater todo o gasto energético do veículo. Em casos de incapacidade técnica, por falta de área disponível, excesso de sombreamento ou orçamento limitado, é possível utilizar de um sistema reduzido, que teria custo inicial inferior e atenuaria, parcialmente, o consumo de energia do modal.

O uso de ônibus elétrico e do sistema fotovoltaico, embora apresentem receitas acumuladas similares nos primeiros 10 anos, mostram-se mais favoráveis para os anos posteriores, pois a infraestrutura instalada – de carregadores e módulos fotovoltaicos, possuem vida útil superior a 10 anos - 15 anos para os carregadores e inversores e entre 20 e 25 anos para os módulos, de acordo

com fabricantes. Estando a infraestrutura executada, as benfeitorias poderão ser utilizadas no período subsequente, sem custo residual.

Na modalidade elétrica, cabe ressaltar que os carregadores considerados poderiam ser compartilhados, tendo em vista que a carga suficiente para a demanda diária seria de cerca de 4 horas na garagem em 1 hora e 20 minutos no terminal. Com uma programação adequada e horários de carregamento diferentes, estes carregadores poderiam atender outras linhas de ônibus, diluindo, com isso, o custo da infraestrutura.

Ganhos ambientais

No estudo realizado por Maluf Filho (2013), foram analisados dados da frota de São Paulo com relação à poluição, onde foram separados os tipos de veículos e analisados. No caso dos ônibus urbanos a diesel, o estudo aponta emissões totais de 2.170 t/ano para o monóxido de carbono (CO); 440 t/ano para os gases hidrocarbonetos (HC); 10.840 t/ano para óxidos de nitrogênio (Nox); 300 t/ano para material particulado (MP) e 10 t/ano para óxidos de enxofre (SOx), por veículo.

De acordo com os estudos do C40/ISSRC (2013), foi estimado ganhos ambientais com o uso dos veículos elétricos. Percentualmente, estudos de campo demonstram grande redução na emissão de poluentes pela adoção do ônibus elétrico. Testes realizados em Santiago, no Chile, dados do C40 e IRSCC apontam uma redução entre 73 e 81% com relação ao veículo diesel, dependendo do tipo de bateria adotada. Cabe ressaltar que estes dados são provenientes da análise do tanque à roda, não levando em consideração a emissão de poluentes dos processos produtivos de cada elemento.

Portanto, é possível aferir que a substituição de um ônibus a diesel por um puramente elétrico pode evitar a emissão de até 1801t/ano de CO; 365 t/ano de HC; 8997 t/ano de Nox e 8,3 t/ano de SOx, durante o período de operação dos mesmos.

Comentários finais

Este trabalho demonstra aspectos relevantes para a reconsideração da mobilidade elétrica como uma tecnologia viável ao transporte público. A análise econômica ilustra a atual competitividade entre as três tecnologias utilizadas. O modelo elétrico, no que tange o aspecto econômico, apresenta-se superior após 10 anos de uso. Para o período posterior a análise deste estudo, é esperado um cenário cada vez mais favorável ao uso dos veículos elétricos, pois o investimento na infraestrutura já foi realizado e os preços dos veículos elétricos tendem a diminuir. Cabe ressaltar, no entanto, a necessidade de política e regulamentações específicas para esse tipo de veículo, pois para o projeto tornar-se viável é necessário um período de uso superior a idade média dos ônibus atuantes em Porto Alegre. No que concerne ao aspecto ambiental, entretanto, a

diminuição da emissão de gases nocivos e material particulado apresenta evidente e imediata melhora, sendo um fator relevante para o incremento da qualidade do ar das grandes metrópoles e qualidade de vida dos seus cidadãos.

Os desafios para trabalhos futuros ainda se mantêm, principalmente com relação à qualidade da informação disponível acerca dos veículos elétricos e sua performance técnica e econômica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e a UFRGS, através do PPGE3M, pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

1º Anuário Brasileiro de Mobilidade Energética, Plataforma Nacional da Mobilidade elétrica. Disponível em < <https://www.pnme.org.br/biblioteca/1o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica/>> Acesso em 31/05/2021

Balanço Energético Nacional, Empresa de Pesquisa Energética, Disponível em < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-131/topico-102/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202012.pdf>> Acesso em 31/05/2021.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. 2011. Veículos elétricos: História e perspectivas no Brasil. BNDES Setorial, v. 33, p. 207–224.

Buzatto, H. Gortz, M. Oliveira, L. Locatelli, S. Kakinohana, E. Catapan. 2019. Transporte público elétrico em Curitiba: é possível. ANTP-Revista dos transportes públicos v. 153 p. 8 -24.

CASTRO, B. H. R. DE; BARROS, D. C.; VEIGA, S. G. DA. 2013. Baterias automotivas : panorama da indústria no Brasil , as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. BNDES Setorial, v. 37, p. 443–396.

CASTRO, B. H. R. DE; FERREIRA, T. T. 2010. Veículos elétricos : aspectos básicos , perspectivas e oportunidades. BNDES Setorial 32, p. 267–310.

C40/ISSRC. 2013: Low carbon technologies can transform Latin America's bus fleets. Lessons from the C40 – CCI Hybrid & Eletrical. Disponível em < <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Low-Carbon-Technologies-Can-Transform-Latin-America-Bus-Fleets.pdf> > Acesso em 31/05/2021.

EPTC, Linhas e horários de ônibus. Disponível em < https://www2.portoalegre.rs.gov.br/epc/default.php?p_secao=158> Acesso em 31/05/2021

Guenther e Padilha. 2016. ESTUDO DE VIABILIDADE PARA SUBSTITUIÇÃO DE VEÍCULOS A COMBUSTÃO POR VEÍCULOS DE TRACÇÃO ELÉTRICA EM UMA LINHA DE ÔNIBUS DE CURITIBA.

IBGE, Panorama de Porto Alegre. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/panorama>>. Acesso em 31/05/2021.

Leurent, F., Windisch, E. 2011. Triggering the development of electric mobility: a review of public policies. Eur. Transp. Res. Rev. 3, 221–235.

Maluf Filho, Adalberto Felício. 2013. Avaliação do ciclo de vida de diferentes tecnologias de ônibus: Eficiência energética e emissões de poluentes em operação real. Disponível em < <http://files-server.antp.org.br/5dotSystem/download/dcmDocument/2013/10/07/5B72F3AA-0DC5-468E-A6F7-17474BBD1FB8.pdf>> Acesso em 31/05/2021

Pesquisa de Satisfação Qualionibus Porto Alegre 2019. Disponível em < http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/eptc_pesquisa_qualionibus_2019.pdf> Acesso em 31/05/2021

Stangueto, K. e Silva, E..Análise do suprimento de frota de veículos elétricos por usina solar fotovoltaica de 1MWp. ANTP- Revista dos transportes públicos v. 141 p. 109-124, 2015.

STUDY OF THE TEMPORAL VARIATION OF OFFSHORE WIND ENERGY POTENTIAL IN SOUTHEAST BRAZIL

| ID 18829 |

1Thiago Ribeiro Coriolano, 2Natália Tasso Signorelli, 3Jader Lugon Junior, 4Marcos Antonio Cruz Moreira, 5Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva

1Instituto Federal Fluminense, e-mail: tcoriolano2@gmail.com; 2Fugro, e-mail: ntsignorelli@gmail.com; 3Instituto Federal Fluminense, e-mail: jlugonjr@gmail.com; 4Instituto Federal Fluminense, e-mail: mcruzbr@yahoo.com.br; 5Universidade Estadual Norte Fluminense, e-mail: justi@uenf.br

Key words: Renewable Energy; ERA5 reanalysis; Offshore Wind Farms.

Abstract

Global energy consumption has grown over the years marked by technological development and industrialization. Renewable sources have gained prominence due to climate urgency and international agreements that aim to reduce CO₂ emissions across the planet. In this regard, wind energy, already consolidated in the onshore region, has evolved offshore regions. In Brazil, there is a growing interest in offshore wind projects. Many of these projects are currently through the environmental licensing process, mostly in the southeastern region of the country. It is known that this area has a relevant wind energy potential. This area is dynamically dominated by the South Atlantic Subtropical Height, the main meteorological phenomenon in the region, which has been affected by recent changes in the global atmospheric circulation. This work aims to evaluate the temporal variation of offshore wind potential in southeastern Brazil. ERA5 reanalysis hourly outputs from 1979 to 2020 were evaluated through high-level computational tools and consolidated statistical analysis mechanisms. A general decrease in the frequency of low wind speed records ($\leq 7.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and a raise in the higher wind speed range ($> 7.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), mainly related to the intensification and expansion of the South Atlantic Subtropical Height (SASH) over the past 40 years, were observed and affected the estimates of offshore wind potential over the analyzed region. Apart from the coast of São Paulo and the south coast of Rio de Janeiro, there was a consistent increase in the wind power density over decades. The four analyzed points presented an increase of $1.55 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ to $1.89 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$, which corresponds to an increase of 8.2% to 11.2% in the median wind power density.

Introduction

The demand for energy and associated services, to meet social and economic developments and improve human well-being and health, is increasing. The global use of fossil fuels has gained prominence in energy supply, leading to rapid growth of carbon dioxide (CO₂) emissions since 1850 (EDENHOFER *et al.*, 2012).

Despite the recent historical events, such as the 2008 crisis and the Covid-19 pandemic in 2020-2021, the global electricity consumption *per capita* has increased over 1000 kWh in the past 15 years, mainly motivated by technological development and industrialization, which drive global electricity demand (RITCHIE; ROSER, 2021).

In the present scenario of urgent climate crises and increasing energy demand, the search for new renewable energy sources has become essential. Among the currently available renewable sources, the expansion of wind power energy has been noteworthy worldwide (SANTOS *et al.*, 2015).

Globally, offshore wind farms have been a reality for many years. The total installed capacity increased from 3.3 GW in 2011 to 27.2 GW in 2019. An annual growth superior to all other sources of electricity, excepting the photovoltaic solar energy (IEA, 2019).

Currently, Brazil ranks 7th among the countries with the largest installed wind energy production capacities (GWEC, 2019). The country's onshore capacity (about 15.9 GW) is expected to reach 32.2 GW by 2030. Offshore wind farms, however, are still unprecedented.

The first offshore projects in Brazil were submitted to IBAMA (Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources) in 2016. Driven by the increasing interest of entrepreneurs on this subject, the Energy Research Office (EPE) published the Brazilian Offshore Wind Roadmap in January 2020. It identifies potential challenges for the development of this sector in Brazil, including the lack of legal and regulatory scopes (EPE, 2020) also discussed by Santestevan (2019) and Souza *et al.* (2021). According to these authors, even though offshore wind farm entrepreneurs need to contact at least eight different public agencies to obtain authorizations for their developments, their legal security is not yet guaranteed. In this sense, the law project PL 11.247/18 seeks to build the legal framework for offshore wind farms. Currently under discussion in the Brazilian Senate, however, it still needs further development and approval to become a valid law in the country. Besides, IBAMA published the first term of reference for environmental licensing of wind farms later in 2020.

To date, 19 projects have been registered *by* investors who wish to obtain environmental licensing of their projects. Five of them are located in the region of interest of this paper: the coastal region of the States of Rio de Janeiro and Espírito Santo in Brazil (SEI/IBAMA, 2021).

Next to the country's most populated areas and largest economic centers, this region is one of the promising locations for offshore wind power generation within the Exclusive Economic Zone (EEZ) of Brazil, with an averaged wind energy potential of 83 GW for water depths below 100 m and 1118 GW for the whole EEZ (EPE, 2020; CORIOLANO, 2020).

Nascimento (2020) also shows that the wind energy potential varies seasonally, mainly in response to the South Atlantic Subtropical Height (SASH), the major atmospheric system affecting the region, source of the north and northeastern winds that dominate this location. According to the author, in April, at the weakest point of SASH (KAPALA; MÄCHEL; FLOHN, 1998; DEGOLA, 2013; SIGNORELLI, 2017) the region has half the capacity of generating wind energy than it does in September ($500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, at 100 m height) when SASH is both, more intense and closer to the region.

Several studies also show that the strength and position of the SASH have been affected by recent changes in the global atmospheric circulation (SEIDEL *et al.*, 2008; HUDSON, 2012; VIZY; COOK, 2016, among others). According to Signorelli (2017) and Reboita *et al.* (2019), the SASH has expanded, intensified, and moved southward in the past decades. This poleward shift of the SASH has also been verified in different future scenarios (HE *et al.*, 2017; REBOITA; AMARO; DE SOUZA, 2018).

Analyses of the wind potential variability over the years have already been carried out for some regions and countries, such as Europe (CARVALHO; GÓMEZ-GESTEIRA; SILVA SANTOS, 2017), Iran (ASAKEREH *et al.*, 2015), Karamay in China (JIANG, 2015) and in the Gaza region (ALAYDI, 2010). Some studies address the changes in the Brazilian coastal areas due to future climate scenarios (such as Pereira *et al.* (2013) and Reboita, Amaro and De Souza (2018)). The recent changes of wind power generation offshore Southeast Brazil, however, is currently unknown.

In this sense, this present article proposes to analyze the last 40 years of wind data to assess the impacts of recent changes in the global atmospheric circulation in the wind energy potential in Brazil's southeastern region, comprising a multi-decadal wind power density and wind frequency distribution, anomalies, and trends analysis.

Data and methodology

In this study, ERA5 reanalysis hourly outputs from 1979 to 2020 (C3S, 2017, p. 5; HERBACH *et al.*, 2020) were used to assess the recent changes in wind energy potential offshore Brazil. This reanalysis is consolidated and widely used in academia and industry for wind potential modeling (OLAUSON, 2018).

The monthly Wind Power Density (WPD) time series was obtained according to Equation (1) (SOARES; LIMA; NOGUEIRA, 2020).

$$\text{WPD} = \frac{1}{2} \rho v_z^3 \quad (1)$$

where: ρ is the density of the air, v_z is the wind speed at 100 m. Air density (ρ) is considered constant and equal to $1.22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, according to International Organization for Standardization, (ISO, 1975), standard atmosphere.

The area of study is shown in **Figure 1**. Four additional points (P_1 to P_4 , **Table 1**) were defined considering a less complex and costly offshore wind farm project (EPE, 2020): high energy generation potential (GOMES, 2018; CORIOLANO, 2020; NASCIMENTO, 2020), proximity to the coast and lower water depth. All points were defined within the 200 nautical miles that define the country's exclusive economic zone (EEZ) (BRASIL, 1990). The selected points are within a region of broad interest in the development of offshore wind farm projects, emphasized by the location of the five projects currently being processed for environmental licensing (**Figure 1**).

Table 1: Points of Interest.

	Latitude [S]	Longitude [W]
P₁	21.50°	40.50°
P₂	22.00°	40.50°
P₃	22.25°	40.75°
P₄	22.75°	41.50°

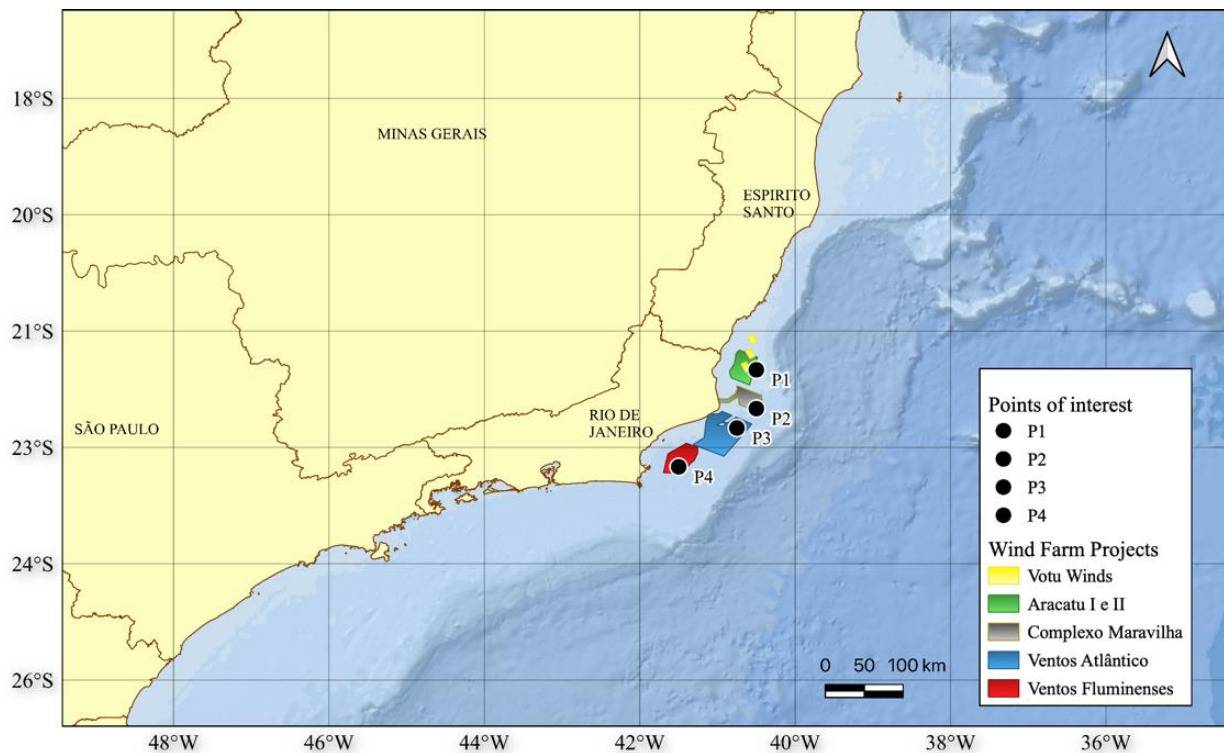


Figure 1: Points of interest and offshore wind farm projects.

To verify the effects of recent changes in the global atmospheric circulation in the WPD in the area, a multi-decadal analysis was performed. Decades from 1990 to 2010 were compared to 1980 and the Mann-Whitney non-parametric test (GIBBONS; CHAKRABORTI, 2020) was applied to identify if the populations were statistically different.

A boxcar filter of 12 months was used to remove the seasonal variation from the monthly time series of WPD. The linear trend was then calculated using the Kendall-Theil robust line estimator (GRANATO, 2006), considering a 95% significance.

Results and discussion

The geospatial distribution of the power density median from 1981 to 2020 is presented in **Figure 2**. The anomalies, , relative to the 1980s, are shown in percentage in **Figure 3**. Already discussed in the literature (GOMES, 2018; CORIOLANO, 2020; NASCIMENTO, 2020), the area between the northeast coast of Rio de Janeiro and the south of Espírito Santo is a region of high energy generation potential. Results also show that there was an increase in the WPD (up to 12%) over the decades.

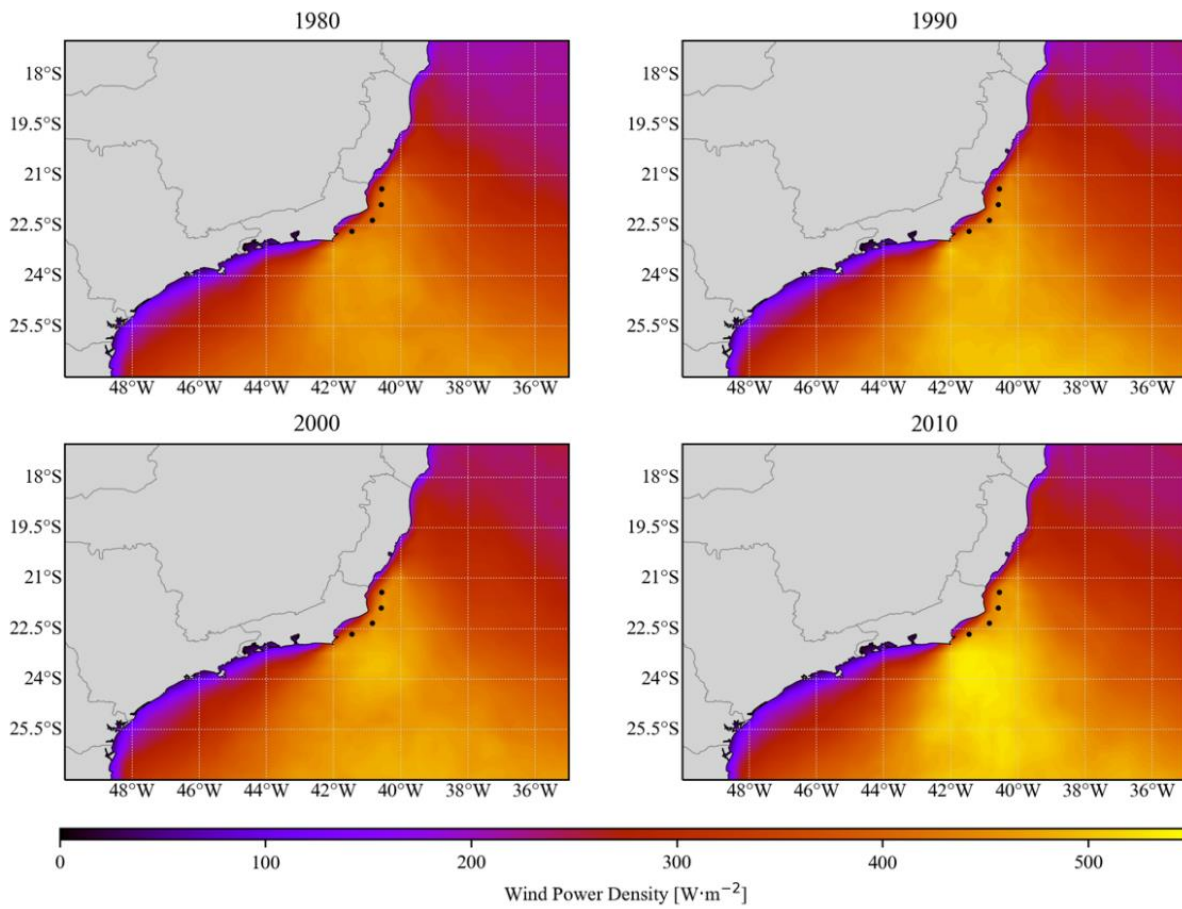


Figure 2: Wind Power Density Median [$W \cdot m^{-2}$] at 100 m from 1981 to 2020.

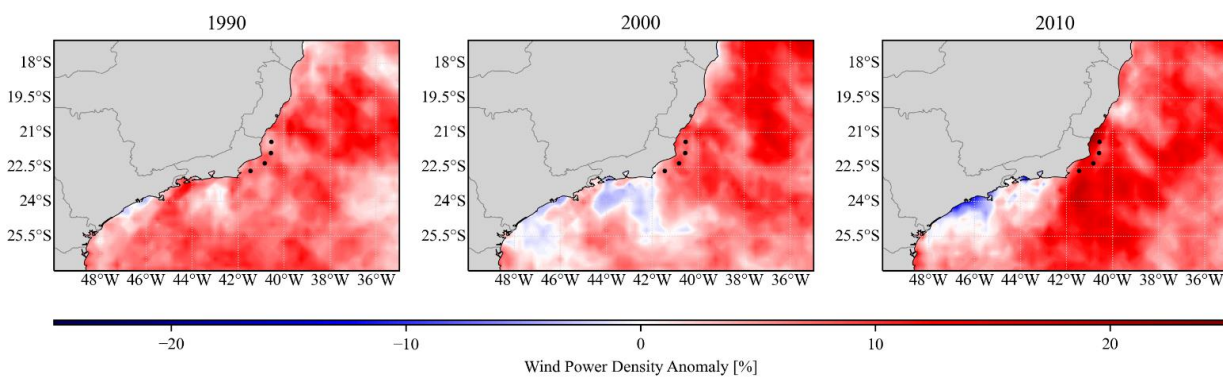


Figure 3: Wind Power Density Anomalies [%] at 100 m from 1990 to 2010, relative to the decade of 1980.

The comparison between 1980 and 2010 median values (**Table 2**) shows an increase of 8.2% (P_1), 9.8% (P_2), 11.2% (P_3) and 10.8% (P_4).

Table 2: Wind Power Density [$W \cdot m^{-2}$] at 100 m over the Decades of 1980 and 2010 for P_1 to P_4 .

	Median [$W \cdot m^{-2}$]		Mann-Whitney Test Results	
	1980	2010	U	P-value
P_1	421.8	435.1	6005	0.013
P_2	429.7	458.8	6141	0.025
P_3	408.1	443.3	6067	0.018
P_4	426.2	459.1	6212	0.033

Figure 4 also shows a shift in the distribution of the monthly WPD within each decade, with an increasing dissimilarity between the first and third quantiles. The Mann-Whitney test results show that those differences are statistically significant at 95% (**Table 2**).

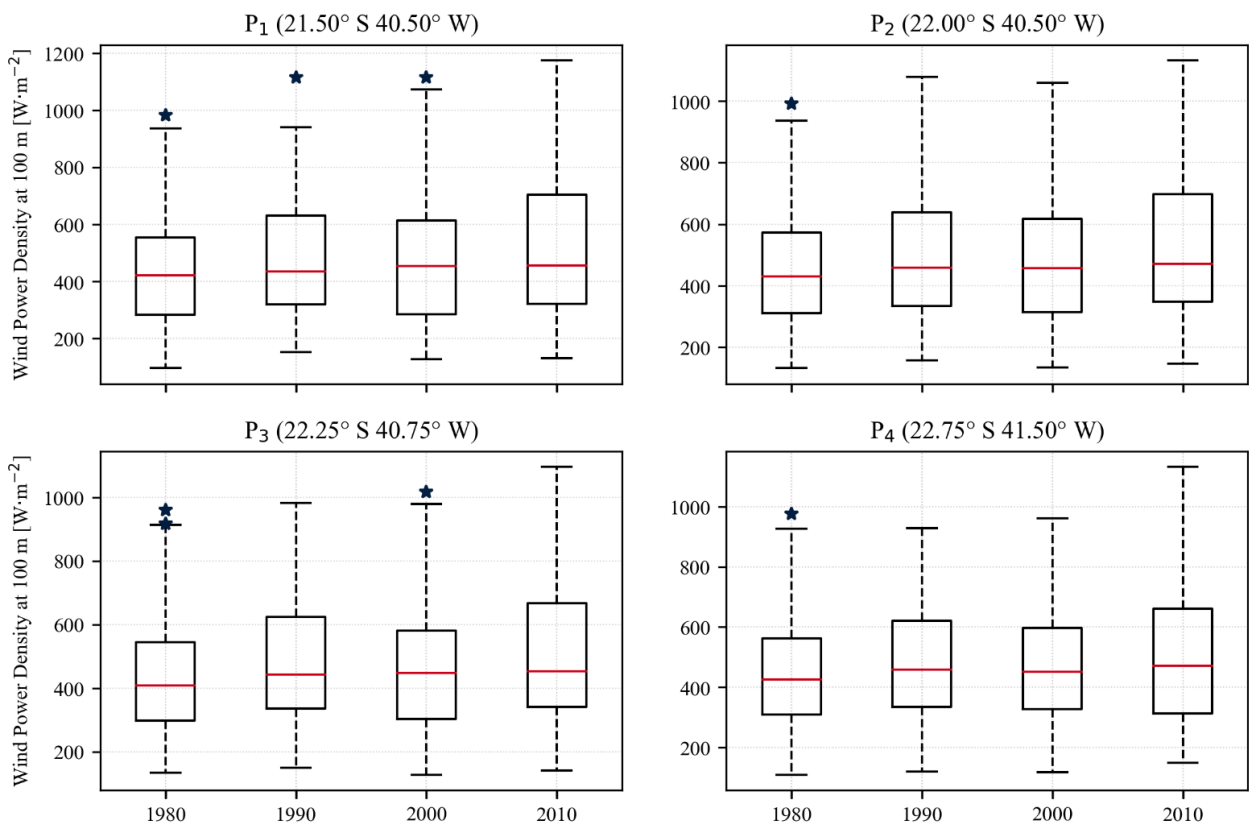


Figure 4: Decadal Wind Power Density Distribution at 100 m from 1980 to 2010, for P_1 to P_4 .

As expected, changes over the WPD reflect the shift in the distribution of the hourly wind speed records over the area. It is possible to observe a general decrease in the frequency of low wind speed records (0 to $7.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) whereas the higher wind speed range ($>7.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) increased over the

decades (**Figure 5**). No significant changes were found in the overall directional distribution of the wind (not shown).

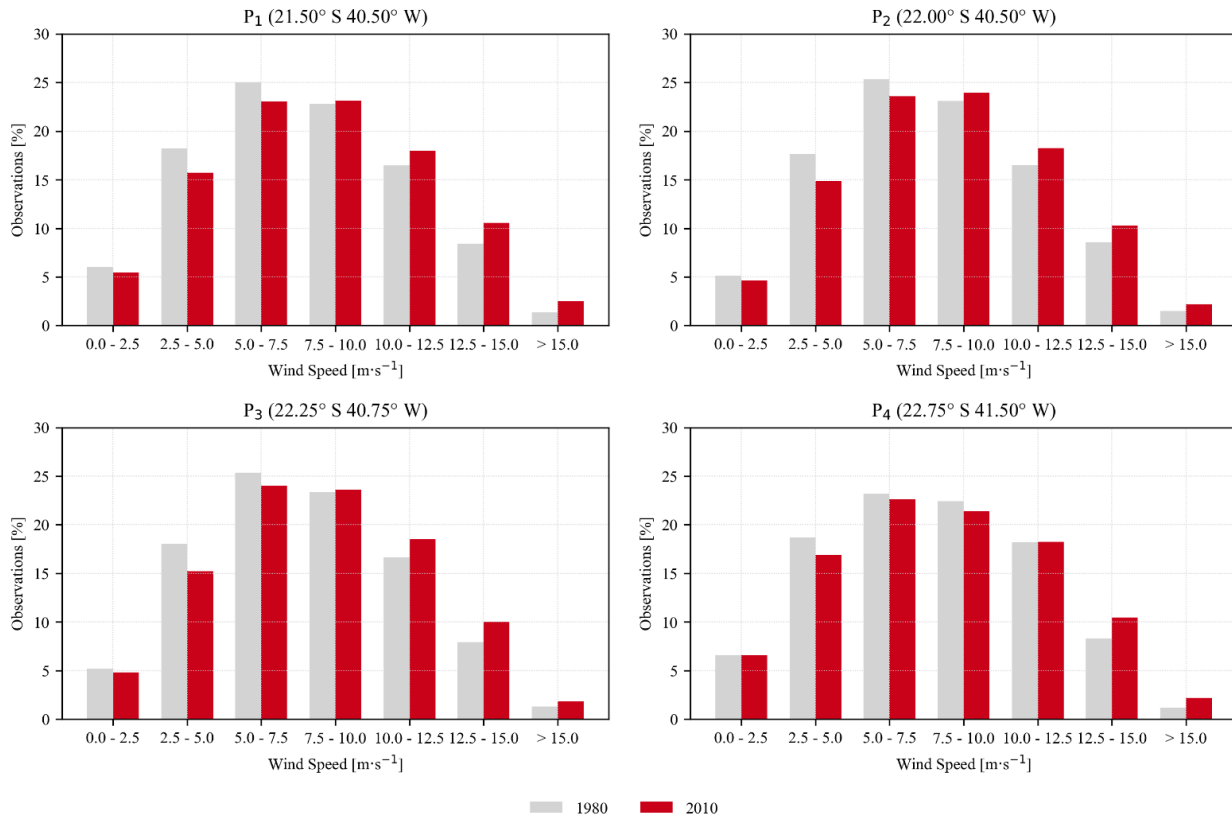


Figure 5: Wind Frequency Distribution at 100 m [%] of the Decades of 1980 and 2010.

However, as stated in **Table 3**, most of the observed wind speed increase is related to the north and northeast winds from the SASH, suggesting a strengthening of the high-pressure system over the region, as described by Signorelli (2017).

Table 3: Frequency Distribution of Wind Records at 100 m [%] for the Decades of 1980 and 2010, grouped by Speed [m·s⁻¹] and Direction.

Direction	Wind Intensity	P ₁		P ₂		P ₃		P ₄	
		1980	2010	1980	2010	1980	2010	1980	2010
N, NE	≤7.5 m·s ⁻¹	19.1%	16.1%	18.1%	15.5%	17.9%	15.6%	16.2%	15.6%
	>7.5 m·s ⁻¹	37.9%	42.1%	37.5%	41.5%	37.3%	41.3%	37.2%	39.6%
E - NW	≤7.5 m·s ⁻¹	30.2%	28.1%	30.0%	27.7%	30.7%	28.4%	32.3%	30.5%
	>7.5 m·s ⁻¹	11.2%	12.0%	12.1%	13.2%	11.9%	12.6%	12.9%	12.7%

Wind speeds above $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ were not observed in any of the four points analyzed, which is beneficial for wind energy production since it is the cut-off limit (the speed that the turbine shuts down to avoid damage) for most of the offshore wind turbine models available. Future scenarios need to be evaluated, considering that future climate change scenarios can further change the wind frequency distribution, especially at the higher speed ranges.

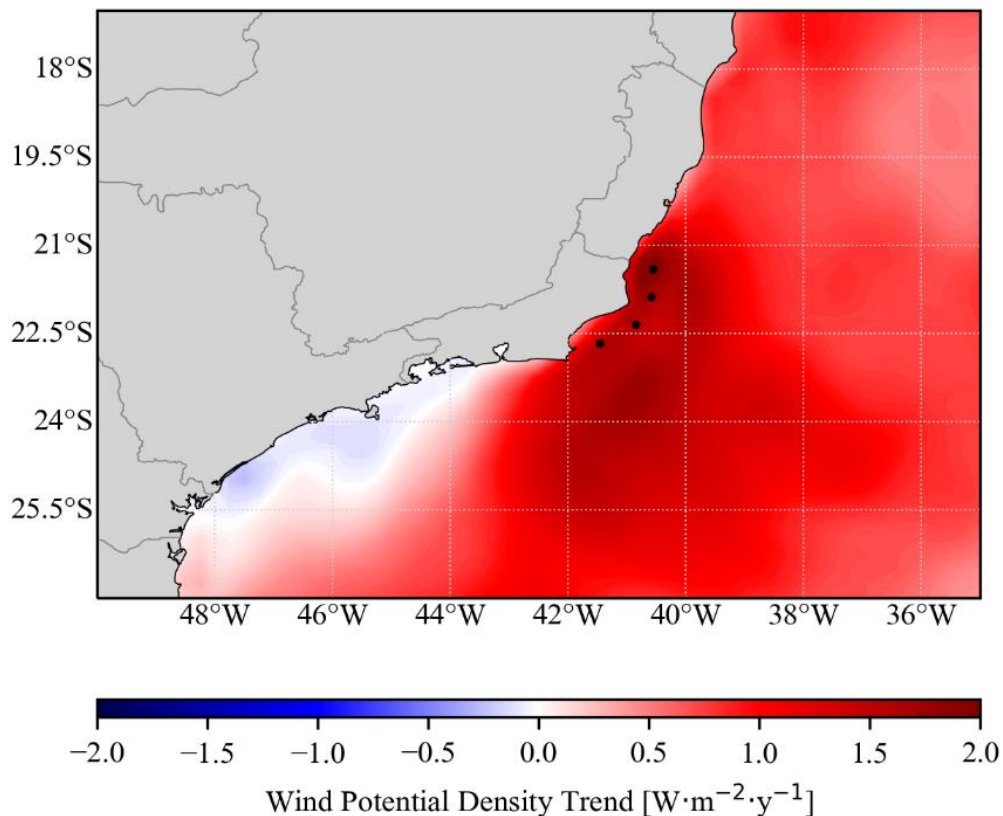


Figure 6: Wind Power Density Trend [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$] from 1979 to 2020.

The linear rate of the wind power density over the years is presented in Figure 7. Considering 95% significance, positive trends were observed in almost the entire analyzed area (Figure 6), except for the coast of São Paulo and the south coast of Rio de Janeiro, where smaller negative changes were found ($-0.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$). The points of interest are located in a region of a rapid increase in wind power density, with trends ranging from $1.55 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ to $1.89 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ (Table 4).

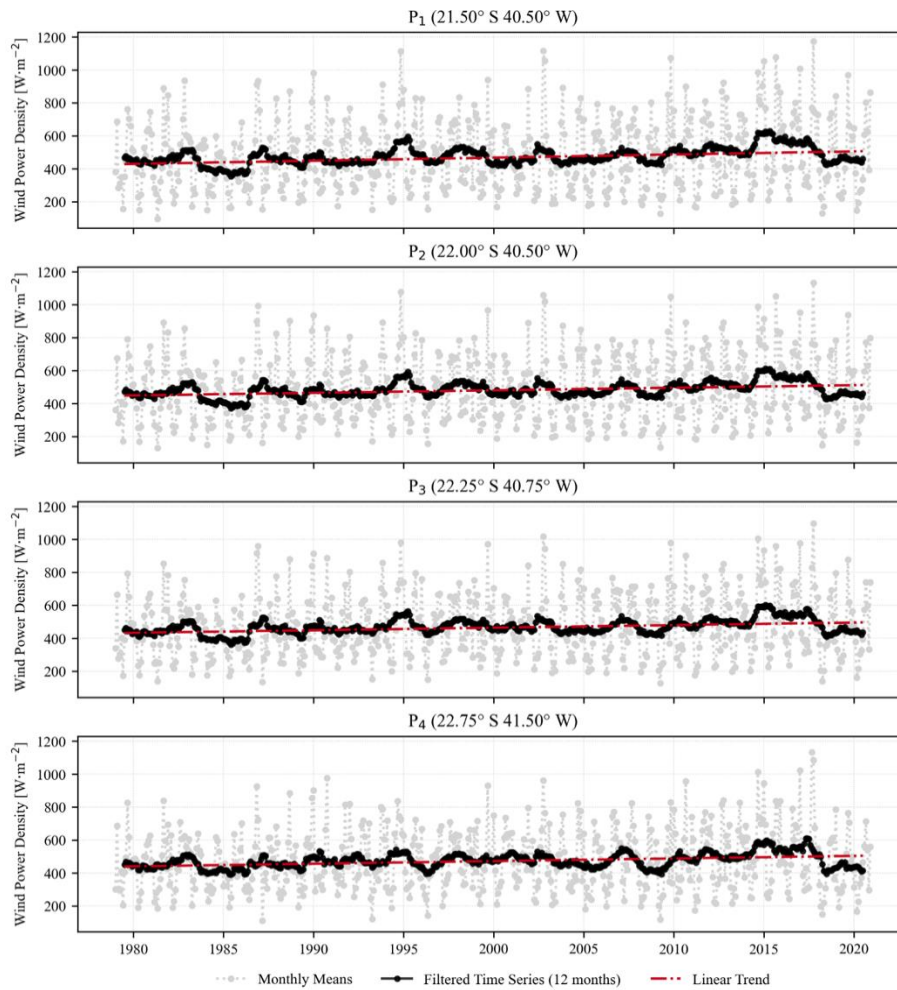


Figure 7: Wind power density linear trend estimation.

Table 4: Wind Power Density Linear Trend at 100 m [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$] from 1979 to 2020, for P_1 to P_4 .

	Linear Trend [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$]	95% Confidence Interval [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$]	
P_1	1.89	1.53	2.25
P_2	1.55	1.20	1.88
P_3	1.56	1.24	1.88
P_4	1.60	1.26	1.92

This fast increase in energy supply may not continue in the foreseeable future as described by Reboita, Amaro and De Souza (2018). As discussed by Schaeffer *et al.* (2012), the analysis of the climate impacts on wind energy production must consider the frequency distribution of wind speeds. From the wind energy production perspective, the intensification of the wind is positive for the

development, since the turbines can generate more energy, following their power curve. However, considering the main offshore wind turbine models available on the market, there is no increase in the energy production for wind speeds higher than $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Thus, climate change scenarios in which higher frequencies of wind above this threshold are expected need to be evaluated during the planning of the wind farms.

Conclusions

This work aimed to provide a multi-decadal analysis of the last 40 years of wind data to assess the impacts of recent changes in the global atmospheric circulation in the wind energy potential in Brazil's southeastern region, using ERA5 reanalysis hourly outputs from 1979 to 2020.

A general decrease in the frequency of low wind speed records (0 to $7.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and a raise in the higher wind speed range ($>7.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) were verified. These changes, related to the intensification and expansion of the SASH over the past 40 years (Signorelli (2017) and Reboita *et al.* (2019)) have affected the estimates of offshore wind potential in the analyzed region.

Apart from the coast of São Paulo and the south coast of Rio de Janeiro, a statistical increase in the WPD was observed over the decades. The four analyzed points presented an increase of $1.55 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ to $1.89 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$, which can be translated into a growth of 8.2% to 11.2% in the median wind power density.

As discussed, a frequency raise of wind speeds from 7 to $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ is generally beneficial to wind farm developments. However, for the major offshore wind turbine models available in the market, there will not be any significant increase in energy production if wind speeds above $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ become more recurrent. Although not observed in any of the four analyzed points, a constant strengthening of wind over the area might lead to speeds above the cut-off limit of those turbines ($25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) in the future.

In this sense, a more detailed assessment of the wind distribution variations, using hourly wind data fit to the Weibull distribution, would refine the estimates of wind energy production by accounting for the effects of the turbines power curves. The same methodology, when applied to different carbon emission scenarios, would contribute to better identify the consequences of climate change in the future of the wind energy production in the area.

Acknowledgments

The authors acknowledge the financial support provided by CAPES, Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (Finance Code 001), CNPq, National Council for

Scientific and Technological Development, and FAPERJ, Carlos Chagas Filho Foundation for Supporting Research in the State of Rio de Janeiro.

References

ALAYDI, Juma Yousuf. A Survey on the Assessment of Wind Energy Potential in Gaza Strip. *Wind Engineering*, v. 34, n. 5, p. 531–541, 1 out. 2010. <https://doi.org/10.1260/0309-524X.34.5.531>.

ASAKEREH, Abbas; OMID, Mahmoud; ALIMARDANI, Reza; SARMADIAN, Fereydoon. Investigating Potential of Wind Energy in Mahshahr, Iran. *Wind Engineering*, v. 39, n. 4, p. 369–384, 2015. .

BRASIL. Convenção das Nações Unidas sobre o direito do mar. 99.165, 1990.

C3S. ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. 2017. Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>. Acesso em: 1 dez. 2020.

CARVALHO, David; GÓMEZ-GESTEIRA, M.; SILVA SANTOS, Carlos. Potential impacts of climate change on European wind energy resource under the CMIP5 future climate projections. *Renewable Energy*, v. 101, p. 29–40, 1 fev. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.036>.

CORIOLANO, Thiago Ribeiro. Estudo do Potencial de Geração de Energia Eólica Offshore no Brasil. 2020. 52 f. Monografia (Pós-Graduação) – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO, Macaé, 2020. Disponível em: <https://www.lamet.uenf.br/copia-especializacao-em-clima-agua-1>.

DEGOLA, Thiago Souza Dias. Impactos e variabilidade do anticiclone subtropical do atlântico sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros. 2013. 112 f. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: https://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_thiago_s_d_degola_corrigena.pdf. Acesso em: 22 nov. 2019.

EDENHOFER, O.; R. PICHS-MADRUGA; Y. SOKONA; K. SEYBOTH; P. MATSCHOSS; S. KADNER; T. ZWICKEL; P. EICKEMEIER; G. HANSEN; S. SCHLÖMER; C. VON STECHOW. Renewable energy sources and climate change mitigation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Choice Reviews Online*, v. 49, n. 11, p. 49-6309-49–6309, 1 jul. 2012. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.49-6309>.

EPE. Roadmap Eólica Offshore Brasil, n. No NT-EPE-PR-001/2020-r1. Rio de Janeiro - Brasil: EPE, 2020.

GIBBONS, Jean Dickinson; CHAKRABORTI, Subhabrata. *Nonparametric Statistical Inference*. [S. l.]: CRC Press, 2020.

GOMES, Mateus Sant’Anna de Sousa. Proposta de uma metodologia para utilização de energia eólica offshore no litoral Sudeste do Brasil. 26 fev. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/10122>. Acesso em: 23 ago. 2020.

GRANATO, Gregory E. Kendall-Theil Robust Line (KTRLine—version 1.0)—A Visual Basic Program for Calculating and Graphing Robust Nonparametric Estimates of Linear-Regression Coefficients Between Two Continuous Variables. [S. l.: s. n.], 2006. v. chap. A7, (4). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/tm/2006/tm4a7/>. Acesso em: 30 maio 2021.

GWEC. Global Wind Report 2019 | Global Wind Energy Council. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>. Acesso em: 30 maio 2021.

HE, Chao; WU, Bo; ZOU, Liwei; ZHOU, Tianjun. Responses of the Summertime Subtropical Anticyclones to Global Warming. *Journal of Climate*, v. 30, n. 16, seç. *Journal of Climate*, p. 6465–6479, 15 ago. 2017. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0529.1>.

HERSBACH, Hans; BELL, Bill; BERRISFORD, Paul; HIRAHARA, Shoji; HORÁNYI, András; MUÑOZ-SABATER, Joaquín; NICOLAS, Julien; PEUBEY, Carole; RADU, Raluca; SCHEPERS, Dinand; SIMMONS, Adrian; SOCI, Cornel; ABDALLA, Saleh; ABELLAN, Xavier; BALSAMO, Gianpaolo; BECHTOLD, Peter; BIAVATI, Gionata; BIDLOT, Jean; BONAVIDA, Massimo; ... THÉPAUT, Jean-Noël. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.

HUDSON, R. D. Measurements of the movement of the jet streams at mid-latitudes, in the Northern and Southern Hemispheres, 1979 to 2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 12, n. 16, p. 7797–7808, 30 ago. 2012. <https://doi.org/10.5194/acp-12-7797-2012>.

IEA (Org.). Offshore Wind Outlook 2019: World Energy Outlook Special Report. *Offshore Wind*, p. 98, 2019. .

ISO. ISO 2533:1975. 1975. ISO. Disponível em: <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/00/74/7472.html>. Acesso em: 31 maio 2021.

JIANG, Yingni. Research on Wind Energy Potential at Karamay. *Wind Engineering*, v. 39, p. 229–236, 1 jun. 2015. <https://doi.org/10.1260/0309-524X.39.3.229>.

KAPALA, A.; MÄCHEL, H.; FLOHN, H. Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part II: Associations with regional climate anomalies. *International Journal of Climatology*, v. 18, n. 1, p. 23–36, 1998. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199801\)18:1<23::AID-JOC226>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199801)18:1<23::AID-JOC226>3.0.CO;2-7).

NASCIMENTO, Mariana Ximenes do. Estudo do Potencial da Energia Eólica Offshore nas Bacias do Sul e Sudeste do Brasil. 2020. 60 f. Monografia (Pós-Graduação) – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO, Macaé, 2020. Disponível em: <https://www.lamet.uenf.br/copia-especializacao-em-clima-agua-1>.

OLAUSON, Jon. ERA5: The new champion of wind power modelling? *Renewable Energy*, v. 126, p. 322–331, 1 out. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.056>.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; PES, Marcelo P.; DA CRUZ SEGUNDO, Eliude I.; LYRA, André de A. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. *Renewable Energy, Selected papers from World Renewable Energy Congress - XI*. v. 49, p. 107–110, 1 jan. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.053>.

REBOITA, Michelle Simões; AMARO, Tatiana Rocha; DE SOUZA, Marcelo Rodrigues. Winds: intensity and power density simulated by RegCM4 over South America in present and future climate. *Climate Dynamics*, v. 51, n. 1, p. 187–205, 1 jul. 2018. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3913-5>.

REBOITA, Michelle Simões; AMBRIZZI, Tércio; SILVA, Bruna Andreлина; PINHEIRO, Raniele Fátima; DA ROCHA, Rosmeri Porfirio. The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate. *Frontiers in Earth Science*, v. 7, 2019. DOI 10.3389/feart.2019.00008. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2019.00008/full>. Acesso em: 5 jun. 2021.

RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. World per capita electricity consumption. 2021. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-electricity-consumption>. Acesso em: 29 jan. 2021.

SANTESTEVAN, William Hornburg. A ZONA ECONÔMICA EXCLUSIVA BRASILEIRA E OS PARQUES EÓLICOS OFFSHORE: ASPECTOS LEGAIS. 2019. 49 f. Trabalho Conclusão do Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/203257/A%20ZONA%20ECON%20MICA%20EXCLUSIVA%20BRASILEIRA%20E%20OS%20PARQUES%20E%20LICOS%20OFFSHORE%20ASPECTOS%20LEGAIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 ago. 2020.

SANTOS, J. A.; ROCHINHA, C.; LIBERATO, M. L. R.; REYERS, M.; PINTO, J. G. Projected changes in wind energy potentials over Iberia. *Renewable Energy*, v. 75, p. 68-80, 1 mar. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.026>.

SCHAEFFER, Roberto; SZKLO, Alexandre Salem; PEREIRA DE LUCENA, André Frossard; MOREIRA CESAR BORBA, Bruno Soares; PUPO NOGUEIRA, Larissa Pinheiro; FLEMING, Fernanda Pereira; TROCCOLI, Alberto; HARRISON, Mike; BOULAHYA, Mohammed Sadeck. Energy sector vulnerability to climate change: A review. *Energy*, v. 38, n. 1, p. 1-12, 1 fev. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.056>.

SEIDEL, Dian J.; FU, Qiang; RANDEL, William J.; REICHLER, Thomas J. Widening of the tropical belt in a changing climate. *Nature Geoscience*, v. 1, n. 1, p. 21-24, jan. 2008. <https://doi.org/10.1038/ngeo.2007.38>.

SEI/IBAMA. Sistema Eletrônico de Informações - SEI/IBAMA. 2021. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sei>.

SIGNORELLI, Natália Tasso. Um estudo da variabilidade da alta subtropical do atlântico sul usando reanálises. 2017. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Macaé, 2017.

SOARES, Pedro M. M.; LIMA, Daniela C. A.; NOGUEIRA, Miguel. Global offshore wind energy resources using the new ERA-5 reanalysis. *Environmental Research Letters*, v. 15, n. 10, p. 1040a2, out. 2020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb10d>.

SOUZA, Laise Novellino Nunes de; ALVES, Alexsandro da Silva; JUNIOR, Jader Lugon; PINTO, Augusto Eduardo Miranda. Legal challenges for the implementation of a wind farm in the city of Macaé, Rio de Janeiro – Brasil. *Revista de Direito da Cidade*, v. 13, p. 1081-1099, 2021. .

VIZY, Edward K.; COOK, Kerry H. Understanding long-term (1982-2013) multi-decadal change in the equatorial and subtropical South Atlantic climate. *Climate Dynamics*, v. 46, n. 7, p. 2087-2113, 1 abr. 2016. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2691-1>.

APLICAÇÃO DE ACELERADOR DE COMPOSTAGEM E INÓCULO ALÓCTONE NA PRODUÇÃO DE BIOMETANO A PARTIR DE DEJETO SUÍNO

| ID 18810 |

1Janaina Itchenco, 2Mariana Dalsoto Smiderle, 3Suelen Paesi

¹Universidade de Caxias do Sul, e-mail:jiltchen@ucs.br; ²Universidade de Caxias do Sul, e-mail:mmsmiderle@ucs.br; ³Universidade de Caxias do Sul, e-mail:sopaesi@ucs.br

Palavras-chave: biometano, dejetos suínos, inóculo alóctone.

Resumo

A suinocultura está em constante desenvolvimento no Brasil, sendo o 4º maior produtor de suínos, com estimativa de produção de 4,35 milhões de toneladas em 2021. A criação de suínos gera uma grande quantidade de dejetos que necessitam de um manejo adequado. A digestão anaeróbia desses dejetos é uma forma sustentável de manejo, resultando em biogás que tem em sua composição o metano, podendo ser utilizado como energia elétrica, térmica e combustível veicular. Como forma de otimizar o processo para se obter aumento na produção de metano, além do controle de parâmetros operacionais, pode-se utilizar a bioaugmentação com um inóculo alóctone, e produtos comerciais que aceleram o processo de degradação e hidrólise da matéria orgânica. Assim, esse estudo objetivou avaliar a influência da bioaugmentação na digestão anaeróbia de dejetos suínos, com inóculo alóctone (lodo de ETE) e acelerador de compostagem, na produção de metano. Os ensaios foram realizados em frascos de 600mL, contendo 400mL de volume de trabalho e 200 de *headspace*, sendo 20% (v/v) de dejetos suínos (DS), 10% de inóculo alóctone (I) (DS+I) e 10% de acelerador de compostagem comercial (A) (DS+A), mantidos em anaerobiose, sob agitação orbital. Os resultados mostram um aumento de 50% da produção de metano no ensaio contendo dejetos suínos e o inóculo alóctone. O acelerador de compostagem aumentou somente 12,5% a produção quando comparado com o ensaio somente com DS. A adição de inóculo alóctone aos dejetos suínos foi mais efetiva, mostrando ser uma estratégia de aumento de produção de energia renovável.

Introdução

A suinocultura é uma atividade econômica que vem se expandindo no mundo, sendo a segunda proteína animal mais consumida. A China é o maior produtor, seguido da União Europeia, Estados

Unidos e Brasil (ABPA, 2020). O Brasil alcançou uma produção de 4,436 milhões de toneladas de suínos em 2019, e a região sul engloba os estados que mais exportam carne suína. O Rio Grande do Sul concentra 22% destas exportações (EMBRAPA,2020).

A criação intensiva de suínos gera uma grande quantidade de dejetos, que pode causar prejuízos ambientais, como a contaminação de lençóis freáticos pela grande quantidade de fósforo (P), nitrogênio (N) e microrganismos potencialmente patogênicos presentes nas fezes dos animais, necessitando de um manejo adequado (Holm-Nielsen *et al.*, 2009).

O manejo deste dejetos é feito principalmente como compostagem e adubação do solo, contudo o solo possui uma limitação para receber os resíduos sob o risco de perder seu equilíbrio nutricional. A alternativa está na tecnologia da produção de metano através da digestão anaeróbia (DA). A digestão anaeróbia é caracterizada pela bioconversão microbológica de biogás a partir da matéria orgânica sob condições anaeróbias, e sua composição depende do substrato utilizado e das condições de digestão (Neshat *et al.*, 2017). O processo ocorre em quatro principais etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. As bactérias e arqueas são os principais agentes que atuam em simbiose para a conversão de resíduos orgânicos em metano. A DA é um processo duplamente vantajoso pois gera energia e produz compostos de valor agregado, como ácidos graxos voláteis e o digestato, que pode ser utilizado como um biofertilizante livre de patógenos, e com riqueza de micro e macronutrientes (Al Seadi *et al.*, 2013).

Tratamentos biológicos, como a bioaugmentação com inóculo autóctone ou adição de produtos comerciais, podem otimizar a produção de metano. Os aceleradores de compostagem podem auxiliar na decomposição de resíduos orgânicos principalmente na fase de hidrólise, facilitando assim a quebra de moléculas complexas e seu aproveitamento pelos microrganismos presentes no reator. Já adição do inóculo de lodo granular proveniente de estação de tratamento de efluentes é um consórcio microbiano com grande potencial de produção de metano, utilizado, com eficácia, a diversos substratos (Debik, Coskun, 2009; Athanasoulia, Melidis, Aivasidis, 2012; Zeng *et al.*, 2019). Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da bioaugmentação com inóculo autóctone de lodo de ETE e comparar com o acelerador de compostagem na produção de metano a partir de dejetos suíno.

Materiais e métodos

Obtenção de dejetos e lodo

O dejetos suíno foi coletado em uma granja particular, em Galópolis, Caxias do Sul, RS. O inóculo alóctone foi adquirido de um reator UASB de uma estação de tratamento de óleo vegetal, em Esteio, RS e o acelerador de compostagem foi adquirido comercialmente por uma empresa de Altinópolis/SP.

Sólidos Totais

Os sólidos totais foram mensurados a partir de dejetos suíno, lodo granular e acelerador de compostagem, conforme Standard methods (APHA 2018).

Ensaio da atividade metanogênica

Os ensaios foram realizados em frascos de vidro de 600 mL contendo 400 mL de volume de trabalho e 200 mL de *headspace*. O dejetos suíno na concentração de 20% foi avaliado sem e com a adição de tratamentos, de acordo com a Tabela 1. Para garantir a anaerobiose, gás nitrogênio foi fluxionado no meio líquido por 10 min. O pH inicial do meio de cultivo foi regulado em 7,2. Os ensaios foram realizados em duplicatas, os frascos foram mantidos sob agitação orbital (Shaker Cientec) a 140 rpm a 37°C, por 20 dias.

Tabela 1: Composição dos bioensaios com dejetos suíno para a produção de metano.

Bioensaios	Água destilada (mL)	Dejetos suíno (DS) (mL)	Acelerador de Compostagem (A) (mL)	Inóculo alóctone (I) (mL)
DS	320	80	----	----
DS +A	280	80	40	-----
DS +L	280	80	----	40

Análise do biogás

Para determinação do biogás gerado foram retiradas amostras gasosas dos reatores periodicamente. As análises foram realizadas em cromatógrafo a gás (Dani Master – Automatic Sample AS) com coluna Carboxen™ 1006 PLOT Capillary Column (Supelco), tendo o gás hélio ultrapuro como gás de arraste, sob fluxo de 10 mL por minuto. A temperatura do forno foi de 35°C, e a temperatura da coluna e do detector a 100°C. Para a confecção da curva de calibração, foram injetados volumes de 10, 25, 50, 100, 150, 200 e 250 microlitros de gás metano puro. Foram realizados cálculos do volume produzido a partir da equação dos gases ideais e ajustes polinomiais da curva de produção de metano.

O modelo de Gompertz modificado (Lay et al., 1997) foi utilizado para estimar parâmetros cinéticos (R_m , H_{max} e λ) para a produção de metano nos diferentes bioensaios (Equação 1). Para isso foi utilizado software *Statistica* (versão 10).

Eq. 1

$$M = P \cdot \exp \left\{ -\exp \left[\frac{R \cdot e}{P} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

Onde:

M é a produção cumulativa de metano (mL); λ é o tempo de fase lag (dias); R_m é velocidade de produção; e é a constante (2,72).

Resultados e discussão

Os sólidos totais, voláteis e fixos do dejetto suíno e inóculo alóctone foram determinados, conforme tabela 1. O dejetto suíno apresentou maior quantidade de sólidos totais (142.650mg/L), seguido do acelerador (16.144mg/L) e lodo granular (8,740mg/L).

Tabela2: Análise de sólidos totais e suspensos de dejetos suíno, lodo granular e acelerador de compostagem utilizados nos experimentos.

Sólidos / Dejetos (mg/L)	Dejetos Suíno	Lodo Granular	Acelerador de Compostagem
Sólidos Totais	142.650,000	8.740,00	16.144,44
Sólidos Totais Voláteis	104.689,000	5.823,00	11.422,00
Sólidos Totais Fixos	37.961,000	2.917,00	4.722,00

A partir de bioensaios utilizando dejetos suíno, tratamento com acelerador de compostagem (A) e inóculo autóctone (L), pode-se observar que houve produção de metano em todos os testes, em 20 dias de experimento. O ensaio contendo o inóculo autóctone foi o melhor produtor de biogás, produzindo 431,46 mLCH₄ por volume de trabalho (Figura 1).

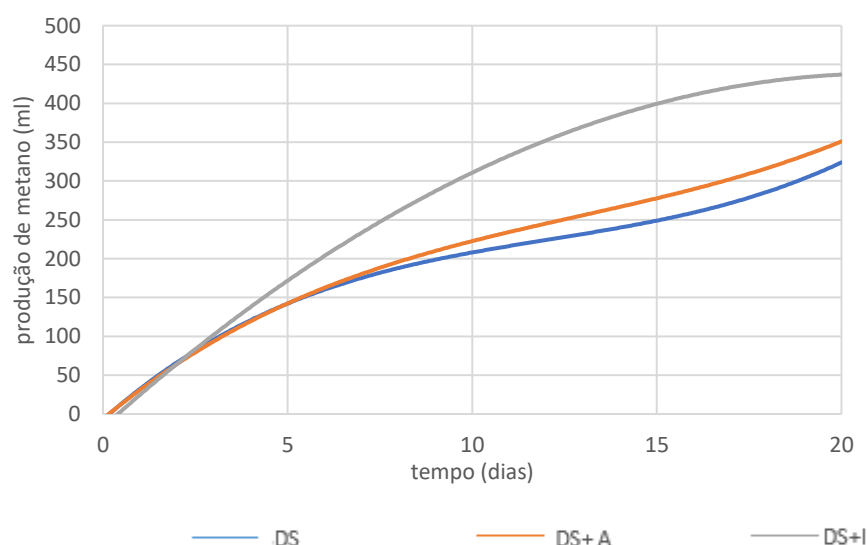


Figura1: Ajuste polinomial da produção de metano a partir de Dejetos Suíno (DS), tratamento com acelerador de compostagem (DS+A) e inóculo autóctone (DS+L), utilizando as médias dos bioensaios em duplicata.

Observou-se um aumento de 12,5% no ensaio DS+A com relação ao controle (DS), obtendo-se uma produção máxima de 322,45 mL (Tabela 3). O acelerador de compostagem tem em sua composição *Lactobacillus plantarum*, uma bactéria ácido láctica anaeróbia facultativa, utilizada na produção de alimentos e rações como probiótico atuando na inibição de crescimento de bactérias

patogênicas, competindo por nutrientes (Stevens et al., 2008; Zhu et al., 2011; Tang et al., 2021), o que pode ter favorecido o processo de hidrólise. O melaço contido na composição do acelerador também pode ter favorecido as bactérias que participam das etapas da DA, como fonte de nutriente.

Tabela3: Produção máxima, velocidade de produção e fase lag dos bioensaios, utilizando modelo de Gompertz modificado.

	Produção Máxima(mL)	Velocidade produção (mL.h)	Fase lag (h)
DS	286,6946	1,257623	24,01352
DS+A	322,4484	1,290297	27,59365
DS+I	431,4580	1,876382	38,89394

A adição de inóculo alóctone (DS+I) aumentou em 50% a produção de metano em relação ao DS (Tabela3), em razão da microbiota variada existente no lodo. Quanto a rendimento de metano, observou-se maior rendimento em DS+I com 50,17mLCH₄/gSV por volume de trabalho (Figura2).

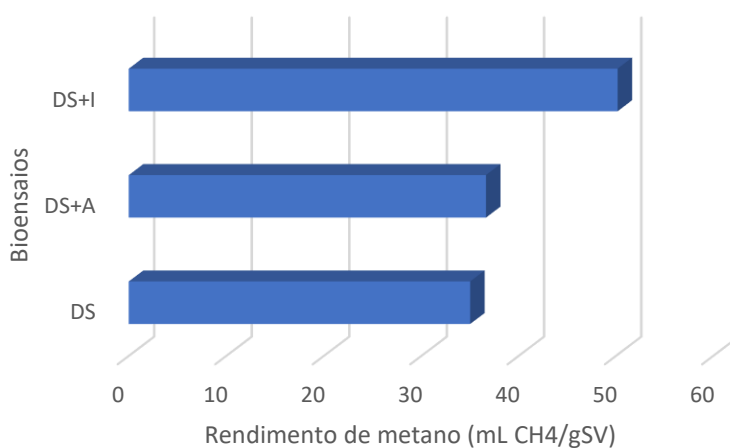


Figura2: Rendimento de metano (mL/gSV) nos bioensaios DS, DS+A e DS+I.

Durante a digestão anaeróbia, dependendo de fatores como carga orgânica, pressão e temperatura, o biogás pode conter entre 40 e 80% de metano (Galbiatti et al., 2010). A quantidade de metano no biogás gerado nos bioensaios foi similar, apresentando a maior porcentagem no DS+I (51%), dentro do esperado. Em trabalho realizado por Konrad et al (2013) com biodigestão de 75% de jeto suíno e 25% Lodo de ETE, observou-se uma porcentagem de metano acima de 40%, corroborando com nossos resultados (Figura2).

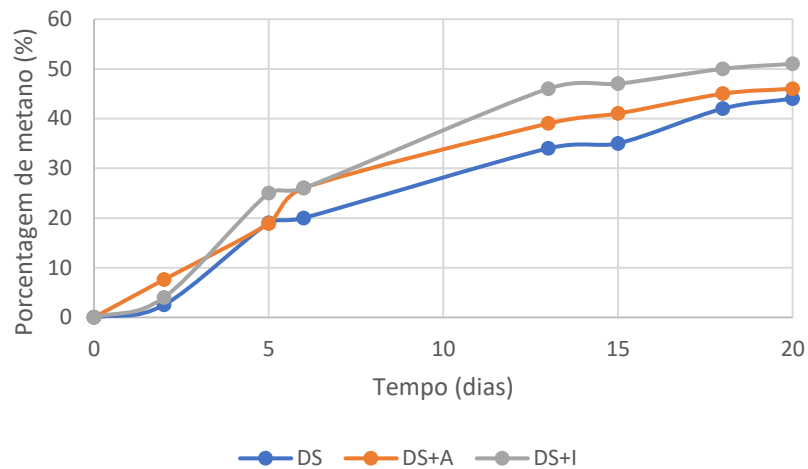


Figura2: Quantidade de metano presente no biogás, produzido nos bioensaios DS, DS+A e DS+I.

O lodo granular já é utilizado em co-digestão por possuir bactérias filamentosas responsáveis pela formação do grânulo, permitindo a aderência de outros microrganismos que atuam na degradação da matéria orgânica e principalmente por conter um conjunto de enzimas que atuam sinergicamente (Von Sperling, 2011). Em trabalhos anteriores utilizando esse mesmo lodo granular em co-digestão com vinhaça (Iltchenko et al., 2019), em concentração de $S_o/X_o=0,7$ (substrato/biomassa) observou-se uma produção de metano de 193mL por volume de trabalho. Na ocasião, identificou-se a microbiota presente na biodigestão, tendo como representantes prevalentes os filos Firmicutes, Proteobactéria e Euryarchaeota, e doze espécies de arqueias, demonstrando uma grande diversidade de microrganismos.

Considerações finais

O resíduo de origem suínica mostrou potencial para gerar metano, mesmo sem um inóculo adicional. Por outro lado, o acelerador de compostagem incrementou em 12,5% a produção de metano. A adição de inóculo autóctone aumentou em 50% a produção cumulativa de metano, sendo a melhor estratégia de incremento na digestão anaeróbia de dejetos suínos, e contribuindo para destinação mais adequada do passivo ambiental e a geração de energia limpa.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade de Caxias do Sul, pela estrutura laboratorial e a CAPES pelo financiamento.

Referências

- _ ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. Disponível em: <https://abpa-br.org/charts/suinos/> Acesso em: 08.05.2021.
- _ EMBRAPA Suínos e Aves - Estatísticas/ Desempenho da produção - Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas> - Acesso em: 08.05.2021.
- Al Seadi, Teodorita, et al. 2013. Biogas digestate quality and utilization. En *The biogas handbook*. Woodhead Publishing, p. 267-301.
- Athanasoulia, E.; Melidis, P.; Aivasidis, A. 2012. Optimization of biogas production from waste activated sludge through serial digestion. *Renewable energy*, v. 47, p. 147-151.
- Debik, Eyüp; Coskun, T. J. B. T. Use of the Static Granular Bed Reactor (SGBR) with anaerobic sludge to treat poultry slaughterhouse wastewater and kinetic modeling. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 11, p. 2777-2782, 2009.
- Galbiatti, J. A.; Caramelo, A. D.; Silva, F. G.; Gerardi, E. A. B.; Chiconato, D. A. 2010. Estudo quali-quantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 432-437.
- Iltchenko, J., Almeida, L. G., Beal, L. L., Marconatto, L., dos Anjos Borges, L. G., Giongo, A., & Paesi, S. (2020). Microbial consortia composition on the production of methane from sugarcane vinasse. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 10, n. 2, p.299-309.
- Konrad, Odorico et al. 2013. Quantificação da produção de biogás e determinação do percentual de metano a partir de dejetos suínos e lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE). *Revista Destaques Acadêmicos*, v. 1, n. 4,
- Lay J.J., Li Y., Noike T. (1997) Influences of ph and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion. *Water Research*, v.31, n.6 , p.1518-1524.
- Neshat, Soheil A. et al. 2017. Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 79, p. 308-322.
- Stevens, M. J., Wiersma, A., De Vos, W. M., Kuipers, O. P., Smid, E. J., Molenaar, D., & Kleerebezem, M. 2008. Improvement of *Lactobacillus plantarum* aerobic growth as directed by comprehensive transcriptome analysis. *Applied and environmental microbiology*, v. 74, n. 15, p. 4776-4778.
- Tang, Shuxin et al. 2021. Effect of *Lactobacillus plantarum*-fermented mulberry pomace on antioxidant properties and fecal microbial community. *LWT*, p. 111651.
- Von Sperling, Marcos. 2011. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Zhu, Li et al. 2011. A reference proteomic database of *Lactobacillus plantarum* CMCC-P0002. *Plos One*, v. 6, n. 10, p. E25596.
- Zeng, Zhuo et al. 2019. Enhanced anaerobic treatment of swine wastewater with exogenous granular sludge: Performance and mechanism. *Science of The Total Environment*, v. 697, p. 134180.

DIMENSIONAMENTO DE BARREIRAS ACÚSTICAS INTEGRADAS A SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA A FERROVIA EM SANTA MARIA-RS

| ID 19039 |

1Débora Cristiele Kummer, 2Guilherme Deboni, 3Murilo Soares, 4Ísis Portolan dos Santos

1,2,3,4 Universidade Federal de Santa Maria – UFSM; 1 arqdeborakummer@gmail.com; 2 guilherme.acustica@gmail.com; 3 murilo.c.soares@outlook.com; 4 isis.santos@ufsm.br

Palavras-chave: Ferrovia; Barreira Acústica; Sistema Solar Fotovoltaico. Área Urbana.

Resumo

Em muitas cidades são encontrados problemas urbanos decorrentes do período inicial da sua expansão populacional. O crescimento urbano rápido e desordenado prejudica as possibilidades de um desenvolvimento sustentável, ocasionando exclusão, inchaço urbano e incapacidade de gerir os impactos causados pelas aglomerações populacionais (CABRAL; CÂNDIDO, 2019). Santa Maria, no Rio Grande do Sul, é um exemplo disso, pois, a cidade teve seu crescimento urbano em torno da ferrovia que corta o município ainda na década XIX. Nos dias de hoje, a cidade de Santa Maria se constituiu como um polo na região central do estado, principalmente, devido a concentração de diversos órgãos públicos estaduais e federais, das unidades militares e da aeronáutica, de serviços nas áreas da saúde e educação, e de uma maior diversidade de empreendimentos dos setores industrial, comercial e de serviços (PEDCC, 2017). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), o município é o 5º com maior concentração populacional no estado, com 283.677 habitantes (IBGE, 2020), sendo que a população urbana do município soma mais de 95% do total (IBGE, 2010). No entanto, esse crescimento exige um maior investimento e ampliação das infraestruturas urbanas, em especial, no que diz respeito ao setor energético do município. Conforme o Plano Estratégico Desenvolvimento do COREDE Central (2017), a cidade apresenta limitações no atendimento à população urbana. Cabe destacar que o abastecimento do município se dá principalmente por energia proveniente de fonte hídrica, visto que, há duas grandes hidrelétricas na região central, sendo elas Dona Francisca (125.000,00 MW) e Itaúba (500.400,00 MW) localizadas nos municípios de Agudo/Nova Palma e Pinhal Grande, respectivamente (SIGA, 2021). Além disso, há também uma crescente preocupação com as questões de ruído a nível urbano as quais são regidas pela ABNT NBR 10151 (2020), e ainda outro problema comum dos grandes centros, que é a invasão

das áreas destinadas a faixa de domínio das ferrovias. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é estudar a atenuação dos ruídos provocados pela passagem dos trens na cidade de Santa Maria, e ao mesmo tempo colaborar com a produção energética do município por meio de fonte alternativa renovável. Para isso, propõem-se a criação de barreiras acústicas integradas a módulos solares fotovoltaicos. Nesse sentido, calculou-se a atenuação das barreiras acústicas para três diferentes distâncias 1 m, 7,5 m e 15 m do eixo do trilho, bem como, com o uso de quatro diferentes materiais para a barreira acústica, sendo eles: concreto armado, vidro, acrílico e placas ecológicas (feitas com embalagens de longa-vida). As placas fotovoltaicas utilizadas na simulação possuem um rendimento de 16,80% e foram posicionadas na vertical (90°). Com as simulações foi possível observar que o melhor desempenho acústico e energético foi obtido com a distância de 15 m, destacando-se que, com a utilização desta distância, é possível também delimitar a faixa de domínio da ferrovia no contexto urbano. Quanto aos materiais, as placas ecológicas demandaram a maior espessura para atender aos requisitos de níveis de ruídos urbano admissíveis segundo a NBR 10151 (2020). Contudo, adotou-se a mesma devido a possibilidade de fazer uso de material reciclado como matéria prima para sua produção. O sistema fotovoltaico, por sua vez, demonstrou que seria possível atender cerca 2,57% da demanda energética do município. Sendo assim, considera-se que deve-se prezar por um crescimento urbano coordenado de modo a efetuar equitativamente uma melhor qualidade de vida para os seus habitantes. A poluição sonora não deixa resíduos e seus efeitos são perceptíveis apenas após muito tempo de exposição, diferentemente do setor energético onde seus efeitos são sentidos de forma imediata. Porém, ambos devem ser considerados pelas políticas públicas, e os governantes locais devem visar atender tanto à crescente demanda energética quanto minimizar a poluição sonora da cidade de Santa Maria.

Introdução

O município de Santa Maria tem seu desenvolvimento urbano intrínseco a execução e consolidação da malha ferroviária, a qual chegou à cidade em meados de 1884. Segundo Faccin (2012), nesse período tinha-se uma população em torno de 8000 habitantes. Posteriormente, com a implantação da ferrovia, foram inaugurados hotéis, restaurantes, lojas de vestuários e utensílios, além de novos aglomerados populacionais as margens da linha férrea. Conforme os registros da época, entre 1885 e 1905 a população urbana teve um expressivo aumento, inclusive Kother (2001) destaca que o número de prédios quadruplicou no mesmo espaço de tempo.

No entanto, as décadas de 1960 a 1990 foram marcadas pela crise ferroviária que atingiu todo o país, essa decadência do sistema ferroviário gerou impactos negativos sobre a classe de

trabalhadores a ele vinculada, refletindo-se sobre as dinâmicas sociais e, conseqüentemente, sobre o espaço urbano (FACCIN, 2012). Com isso, em 1992, iniciou-se o processo de privatização da malha ferroviária e, atualmente, essa é utilizada somente para o transporte de cargas. Embora o conjunto possua tombamento municipal e estadual, há, contudo, um crescimento nas ocupações irregulares tanto as margens da ferrovia quanto em edifícios ferroviários.

Salienta-se que o presente artigo não se aprofundará nas problemáticas urbanas e, sim, nas questões de ruídos provocados pelos trens à população que reside em edificações que respeitam a faixa de domínio (15 metros de cada lado da ferrovia segundo a lei nº 10.932 de 2004), bem como, na possibilidade de ampliação da potência energética instalada no município de Santa Maria. A motivação para este estudo recaem sobre as rodovias, ferrovias e o trânsito aeroportuário ser uma das principais fontes de ruído nas cidades (GOINES *et al.*, 2007).

De acordo com Kuttruff (2007), ruído é qualquer tipo de som indesejado, assim, entende-se que a paisagem sonora de um local está diretamente relacionada a percepção de qualidade de vida. Nesse sentido, diversos esforços têm sido feitos no sentido de controlar os níveis de pressão sonora nas cidades, de maneira a mantê-los dentro dos limites estabelecidos por norma. Uma das ferramentas para alcançar esse objetivo é o uso de barreiras acústicas. Entretanto, apesar de a instalação de barreiras acústicas ser um meio eficiente para o controle do ruído, ela pode gerar outros problemas urbanos, uma vez que, essas estruturas podem chegar a vinte metros de altura, em casos excepcionais, e, dessa forma, impactar aspectos como paisagem visual, iluminação, microclima e vida selvagem (KOTZEN, 2014).

Tendo em vista a significativa altura que as barreiras acústicas podem atingir e a conseqüente área livre criada na superfície das mesmas, entende-se que há um grande potencial para a instalação de sistemas fotovoltaicos nesses locais. Com isso, além de minimizar os impactos sonoros no entorno da ferrovia é possível produzir energia de forma renovável no próprio local. Destaca-se que o município de Santa Maria é responsável pelo consumo energético de 68% do que é produzido no COREDE Central (região que abrange 19 municípios no centro do estado do Rio Grande do Sul), conforme o Plano Estratégico de Desenvolvimento do COREDE Central (2017). Esse plano relata, ainda, que, de forma geral, a região é atendida satisfatoriamente, com exceção de Santa Maria, que apresenta limitações em sua transmissão energética e em áreas rurais devido à baixa potência instalada.

Os discursos sobre eficiência energética não são recentes, principalmente os que dizem respeito a demanda de energia para sustentar os centros urbanos. Dessa forma, destaca-se a importância do uso de energias renováveis, em especial, a energia solar fotovoltaica, visto que, esse sistema vem se destacando no mercado tanto pelo potencial solar que o território brasileiro

apresenta quanto pela, atual, viabilidade econômica. Para Pinho e Galdino (2014), o aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano.

Assim, o objetivo do presente trabalho é analisar a implementação de uma barreira acústica em conjunto com um sistema solar fotovoltaico na malha ferroviária da cidade de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para tanto, foi analisado o impacto que os módulos fotovoltaicos podem ter no desempenho acústico da barreira e o potencial de geração de energia considerando-se a extensão da malha ferroviária urbana e a área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos.

Barreiras Acústicas

Publicada em maio de 2019, e atualizada em março de 2020, a ABNT NBR 10151:2020 traz os requisitos de nível de pressão sonora ambiental para diferentes áreas. A presente análise considerou os limites estabelecidos para áreas de caráter residencial, que são de 50 dB para o período diurno e 45 dB para o período noturno. Barreiras acústicas são, por definição, “qualquer estrutura ou obstáculo que impede a visão da fonte pelo receptor – inclusive o próprio solo quando este se eleva interferindo com a linha de visão” (BISTAFA, 2006, p.199).

De forma mais prática, barreiras acústicas são comumente instaladas ao longo de estradas com tráfego intenso ou ferrovias, amenizando o impacto do ruído gerado por essas fontes (KUTTRUFF, 2007, p.323). Considerando uma barreira com altura constante e comprimento infinito, ou seja, a difração sonora nas bordas laterais não afeta o nível de pressão sonora no receptor, é possível calcular a atenuação sonora causada pela barreira através da seguinte expressão, proposta por Kurze e Anderson (1971):

$$\Delta L = 20 \log_{10} \left[\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \right] dB + 5dB. (1)$$

onde $N = 2(a_1 + a_2 - b)/\lambda$. Segundo Kuttruff (2007), na prática, a atenuação máxima é de 24 dB. Os valores de a_1 , a_2 e b dependem do posicionamento da fonte e do receptor em relação a barreira, conforme a Figura 1.

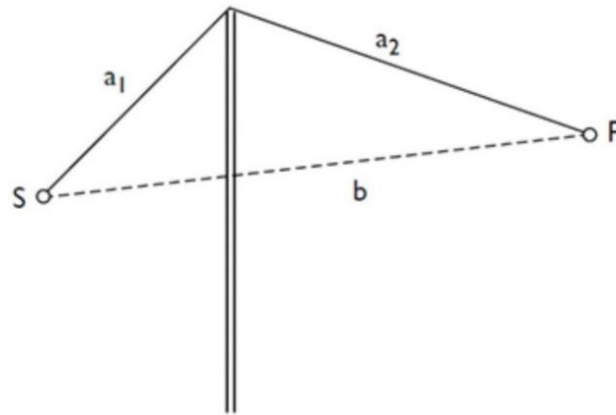


Figura 1: Valores necessários para o cálculo da atenuação de uma barreira, de acordo com as posições da fonte, S, e do receptor, P (KUTTRUFF, 2007).

Essa análise só é válida, entretanto, caso a perda de transmissão da barreira, em si, seja consideravelmente maior do que a atenuação calculada (KUTTRUFF, 2007). A perda de transmissão de um painel simples pode ser obtida através da lei da massa para incidência difusa (FAHY, 2001):

$$R \approx 20 \log_{10}(mf) - 47 \text{dB}, \quad (2)$$

onde R é a perda de transmissão, m é a densidade superficial (kg/m^2) do material e f é a frequência que está em análise. Para painéis duplos, a perda de transmissão do sistema pode ser obtida através da Equação 3.

$$R \approx R_1 + R_2, \quad (3)$$

onde R_1 é a perda de transmissão do painel 1, R_2 é a perda de transmissão do painel 2 (LONG, 2006). Para determinar o nível de pressão sonora (NPS) a uma distância r , produzido por uma fonte sonora em linha (trem) com nível de potência sonora L_W e com um comprimento l é necessário utilizar a Equação 4.

$$NPS = L_W - 10 \log_{10} r - 10 \log_{10} l - 5, \quad (4)$$

Xuetao Zhang (2014) traz os valores de potência sonora de composições ferroviárias trafegando em diferentes velocidades. Na Figura 2 é possível observar que a potência sonora em ponderação A é maior nas frequências médias.

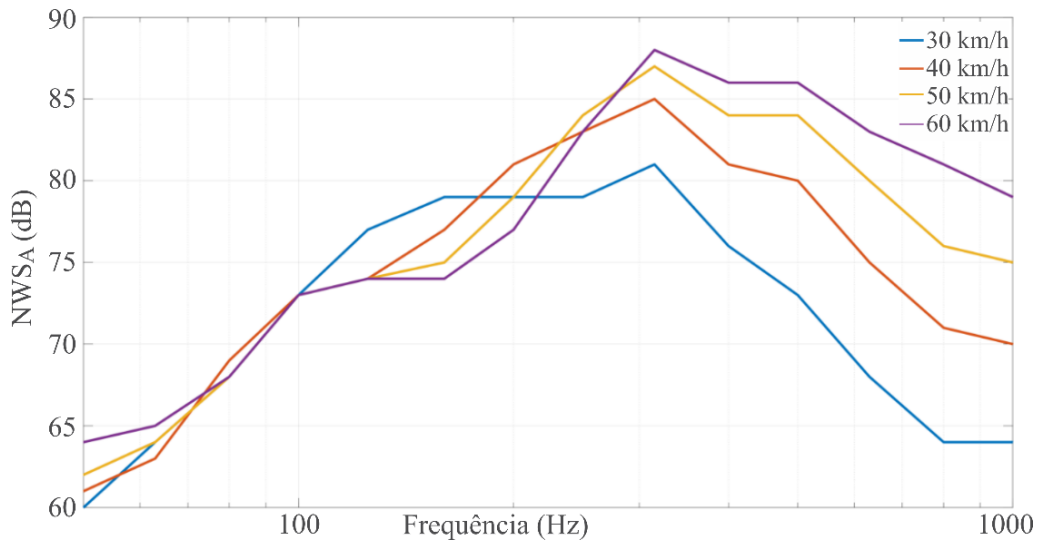


Figura 2: Nível de potência sonora da passagem do trem para diferentes velocidades.

Sistema Solar Fotovoltaico

A matriz energética brasileira é marcada por ser predominantemente de matriz renovável, isso se dá em função de mais 61,63% de sua potência instalada ser proveniente de usinas hidrelétricas (SIGA-ANEEL, 2021). No entanto, fatores climáticos como as secas que afetam as hidrelétricas, as crises no setor elétrico e a demanda pela diversificação energética no país, tem contribuído para o aumento do interesse por sistemas solares fotovoltaicos. O Rio Grande do Sul, na última década, tem apresentado um crescimento constante nas instalações de sistemas solares fotovoltaicos, sendo que em maio de 2021, de acordo com o Sistema de Registro de Geração Distribuída (SIGGD-ANEEL, 2021), o estado se encontrava na 3ª posição nacional com relação aos sistemas na forma de produção de energia descentralizada (703,57 MW) e, em 11ª com uma potência instalada de 4,31 MW no sistemas de produção de energia centralizada (SIGA-ANEEL, 2021).

Segundo Ruther (2004), as instalações solares fotovoltaicas interligadas à rede elétrica pública podem apresentar duas configurações distintas: podem ser instaladas (I) de forma integrada a uma edificação (*e.g.* no telhado ou fachada de um prédio, [...] e, portanto, junto ao ponto de consumo); ou (II) de forma centralizada como em uma usina central geradora convencional, neste caso normalmente a certa distância do ponto de consumo. Neste trabalho se utilizará a barreira como uma usina descentralizada, ou seja, injetando energia em diversos pontos da rede, nos alimentadores distribuídos na malha urbana pela companhia de energia elétrica local. Isso devido a extensão das

barreiras, e também para não haver a inserção de uma carga alta em apenas um ponto, sendo possível, então, atender a demanda energética de uma forma mais homogênea.

Somado a isso, evita-se que a energia percorra longos trajetos, o que acarretaria em perdas ao longo da transmissão por meio do efeito joule (perdas técnicas relacionadas à transformação de energia elétrica em energia térmica nos condutores). Assim, como as usinas centralizadas, a usina descentralizada também produz energia em corrente contínua, e para chegar ao consumidor final é necessário que essa energia passe por inversores e a converta em corrente alternada. Pinho e Galdino (2014) destacam que a energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), onde a célula fotovoltaica é um dispositivo fabricado com material semicondutor e se caracteriza como a unidade fundamental nesse processo de conversão.

Inicialmente, o investimento em uma usina fotovoltaica pode ser oneroso, no entanto, esse investimento é compensado ao longo do tempo devido ao fato dessas estruturas exigirem baixa manutenção, o sol ser um recurso ilimitado e gratuito. Além da longa vida útil desses sistemas, os quais, em geral, os inversores possuem uma garantia de 10 a 15 anos e os módulos fotovoltaicos de 25 anos, com a correta manutenção esse sistema pode chegar a uma vida útil de 30 a 40 anos. Assim, como destaca Ruther (2004), painéis solares fotovoltaicos são projetados e fabricados para serem utilizados em ambiente externo, sob sol, chuva e outros agentes climáticos, devendo operar satisfatoriamente nestas condições por períodos de 30 anos ou mais.

A geração do sistema solar fotovoltaico depende da irradiação média (diária, mensal ou anual) para uma determinada condição (localidade, desvio azimutal e inclinação), que pode ser calculada utilizando-se *softwares* de simulação. Além disso, depende também da área total onde serão instalados os módulos, da eficiência dos mesmos e da eficiência do sistema solar fotovoltaico como um todo. Com isso, a geração do sistema pode ser obtida calculando-se a irradiação, e multiplicando-a pela área e pelo rendimento dos módulos e do sistema solar fotovoltaico.

Atualmente, há incentivos fiscais e políticos oferecidos para a instalação desses sistemas, principalmente por meio de financiamentos, o que tem colaborado com o crescimento substancial da implantação de sistemas solares fotovoltaicos tanto de modo centralizado quanto descentralizado. Além disso, Lau (2018) acrescenta a maior conscientização ambiental, a evolução da tecnologia e a queda dos preços. Nesse sentido, entende-se que é possível criar alternativas de implantação do sistema solar fotovoltaico no contexto urbano de forma integrada a paisagem urbana e, conseqüentemente, suprir as demandas energéticas e diversificar a matriz elétrica local.

Método

Propõem-se o uso de barreiras acústicas/fotovoltaicas ao longo da extensão da ferrovia presente na área urbana do município de Santa Maria. Para o cálculo da área disponível da barreira para a instalação dos módulos fotovoltaicos, considerou-se que a mesma possui 4 m de altura, essa altura se dá em função de ser superior a altura de um trem, o que contribui na atenuação dos ruídos. Entretanto, 0,7 m na parte inferior serão desconsiderados, possuindo função estrutural, servindo como base protetora para os módulos e um meio para a manutenção biota local já que mantém a vegetação rasteira e a fauna existente.

Além disso, da extensão total da ferrovia no perímetro urbano de Santa Maria (24,6 km) será subtraído 20%, correspondente a perdas, seja na intersecção com vias urbanas, que interrompem a barreira, seja por possíveis perdas de área na instalação dos sistemas. Dessa forma, a área total disponível para instalação de módulos solares fotovoltaicos resultou em 137,760 m². Na Figura 3 é possível observar a localização desta área no território, bem como, a localização da ferrovia no contexto urbano de Santa Maria.

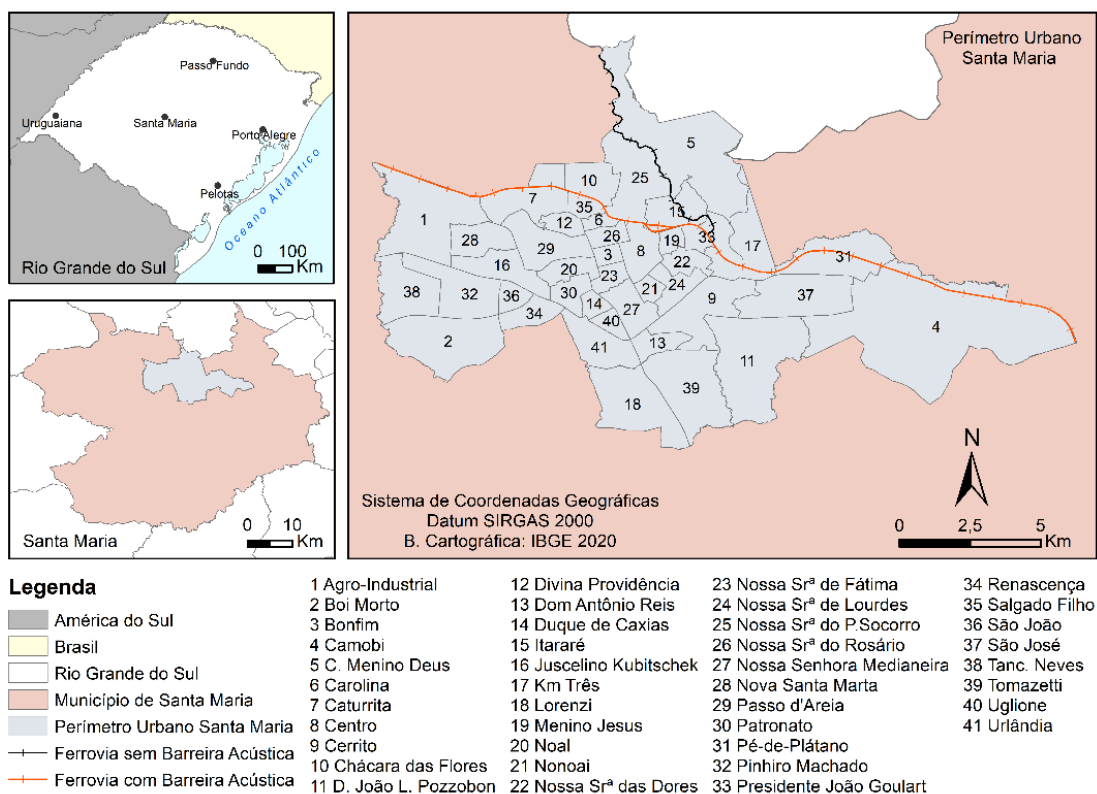


Figura 3: Delimitação urbana e bairros da cidade de Santa Maria.

Com referência no trabalho de Santos (2013), realizou-se uma análise a cada 2 km, visando identificar o desvio azimutal da ferrovia em relação ao norte geográfico. Constatou-se que esse desvio, em cada trecho, não foi superior a 45° ou inferior a -45° . Conforme a Figura 4 é possível observar que não há grande variação na irradiação recebida pelas superfícies no ângulo de 90° com desvios azimutais entre 45° e -45° , sendo inferior a 10%. Nesse sentido, os módulos solares fotovoltaicos serão considerados como voltados para a orientação norte considerando, então, que será instalada uma barreira acústica em cada lado da ferrovia, os módulos estarão em um dos lados voltados para dentro, em direção ao trem, e, do outro lado, voltados para fora, opostos a ferrovia.

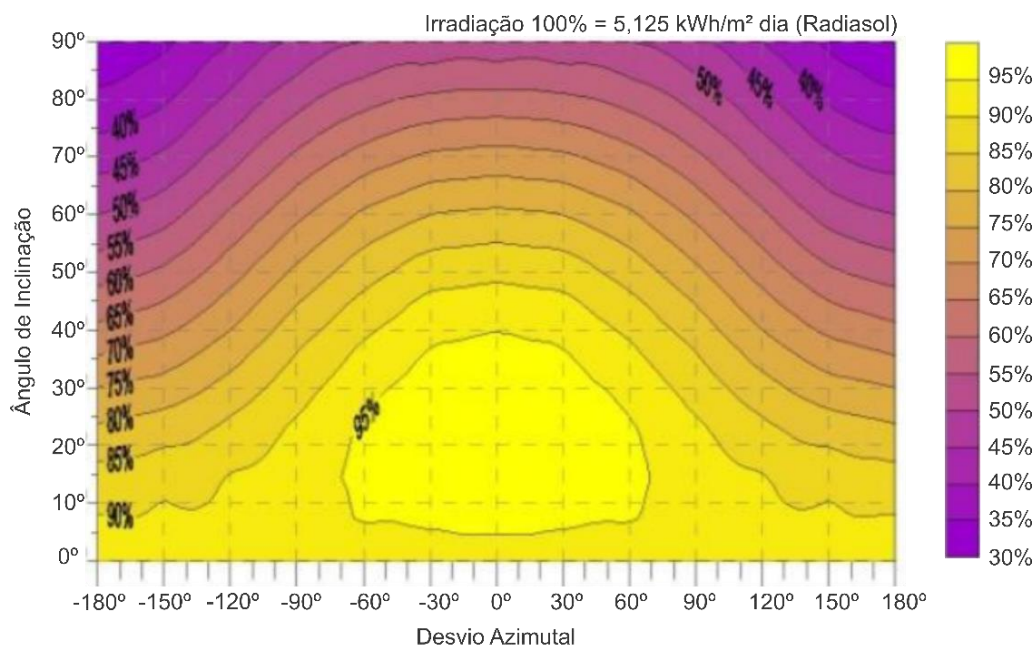


Figura 4: Ábaco do Potencial de Irradiação recebido pelas superfícies em Porto Alegre – RS, Santos (2013).

Definida a orientação, posteriormente, utilizou-se o *software* Radasol (2021) para obter o maior valor de irradiação solar recebido na cidade. Como destacado por Santos (2013), esse programa fornece valores de irradiação em diferentes inclinações e orientações a partir de um dado de radiação horizontal. Por meio da simulação realizada no software, com os módulos voltados para o norte e com inclinação de 90° foram obtidos os valores de irradiação média mensal, os quais são apresentados na Figura 5.

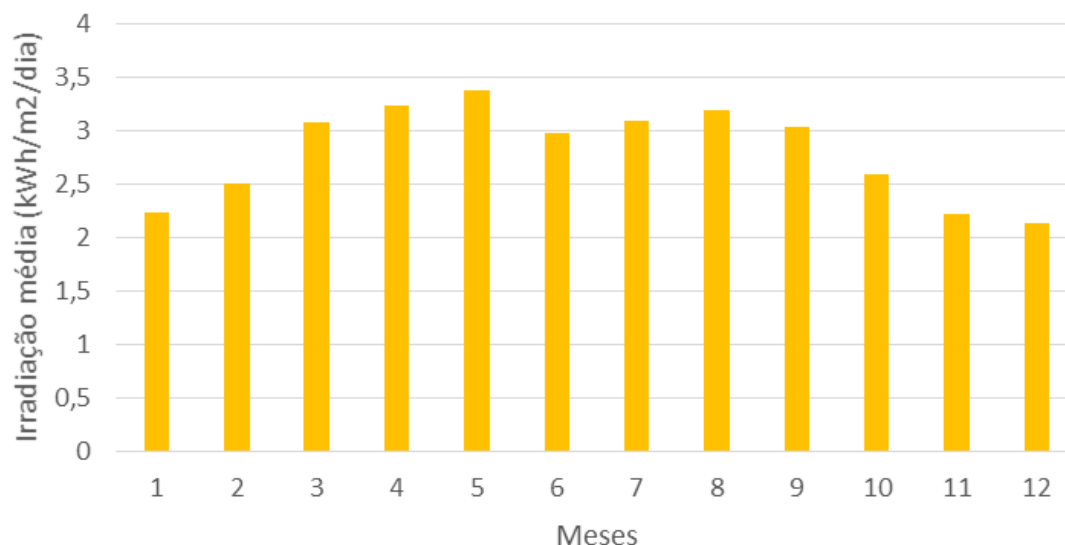


Figura 5: Irradiação média mensal no município de Santa Maria com os módulos voltados para o norte e na vertical, Radiasol (2021).

De modo a integrar o sistema acústico e o fotovoltaico, foi necessário o estudo de sombreamento das barreiras, como já mencionado a altura adotada para as mesmas é de 4 m. A simulação de sombreamento foi realizada no *software* SketchUp (2020), sendo esse já reconhecido como uma ferramenta para análise de sombreamento. Com isso, primeiramente, fez-se o georreferenciamento do programa inserindo-se a latitude e a longitude da cidade de Santa Maria, sendo respectivamente -29,68 e 53,80. Em seguida, ajustou-se o fuso horário o qual é na maior parte do Brasil, e no estado do Rio Grande do Sul UTC - 03:00.

Após, inseriu-se uma malha de 1 m x 1 m e com a elaboração de um modelo simples que se constituiu em dois muros de 20,00 m x 0,15 m x 4,00 m de frente um para o outro simulando as barreiras a uma distância de 30 metros (distância adotada por ser o limite da faixa de domínio) realizou-se a simulação de sombreamento para o solstício de inverno no dia 21 de junho (período de menor incidência solar no hemisfério sul), para os horários de 9:00 horas e 15:00 horas, resultando em um sombreamento de 9,33 m e 6,24 m, respectivamente, como pode-se observar na figura 6. Cabe destacar que foi desconsiderado o sombreamento de possíveis edificações na barreira que possui os painéis fotovoltaicos voltados ao norte para o lado oposto ao trilho do trem.

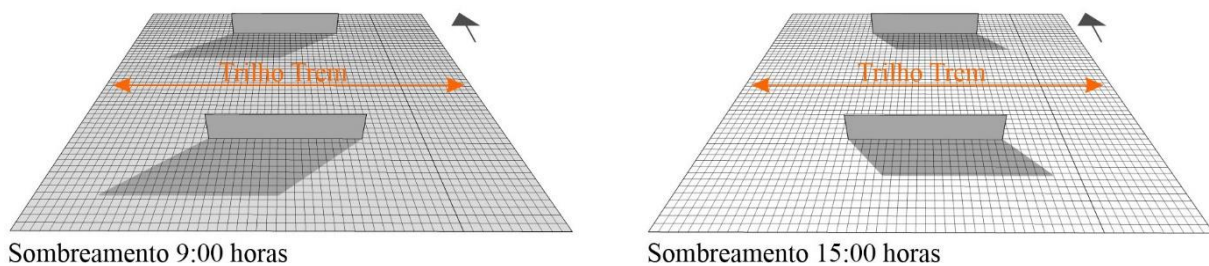


Figura 6: Simulação do sombreamento da barreira acústica fotovoltaica solstício de 21 junho.

Os módulos fotovoltaicos adotados na simulação possuem eficiência de 16,80% e suas dimensões são 1650x992x40 mm com célula policristalina, de 6 polegadas e vidro dianteiro temperado de 3,2 mm. Com isso, após obter os dados e informações necessários, para fins de comparação, realizou-se a análise da atenuação acústica da barreira para 3 diferentes distâncias do trilho (1 m, 7,5 m e 15 m). Quanto aos materiais utilizados foram feitas simulações da atenuação do nível de pressão sonora para barreiras feitas com os materiais: concreto armado, vidro, acrílico e placas ecológicas feitas com embalagens de longa-vida. O desempenho da barreira para as diferentes distâncias e materiais podem ser analisados na sequência.

Resultados e Discussões

A partir do nível de potência sonora da fonte, foi estimado o nível de pressão sonora no receptor em função da distância entre eles, assim, para calcular a eficiência da barreira, além da distância foi considerada também a atenuação gerada pela existência da barreira próxima ao receptor e a perda de transmissão oferecida pelo material que compõe a mesma. Assim, considerando a Equação 1 foi possível calcular a atenuação da barreira para diferentes posições em relação à linha férrea. A Figura 7 mostra a atenuação da barreira para as distâncias de 1 m, 7,5 m e 15 m da linha férrea.

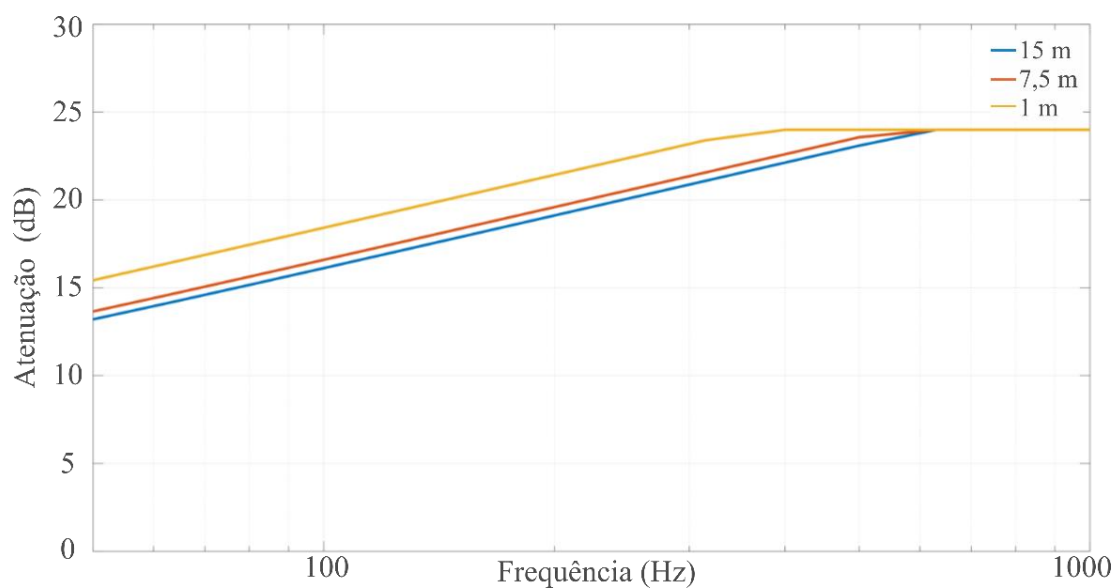


Figura 7: Atenuação da barreira para diferentes distâncias da linha férrea.

Nota-se que a redução na atenuação da barreira de 15 m não apresenta grande variação se comparada as demais distâncias. Contudo, visando evitar o sombreamento dos módulos entre as barreiras, e fazer uso dos limites da faixa de domínio, será adotado a distância de 15 m para as demais simulações. A Figura 8 apresenta uma comparação entre o nível de pressão sonora sem a barreira e o nível de pressão sonora após a colocação da barreira a 15 m da linha férrea.

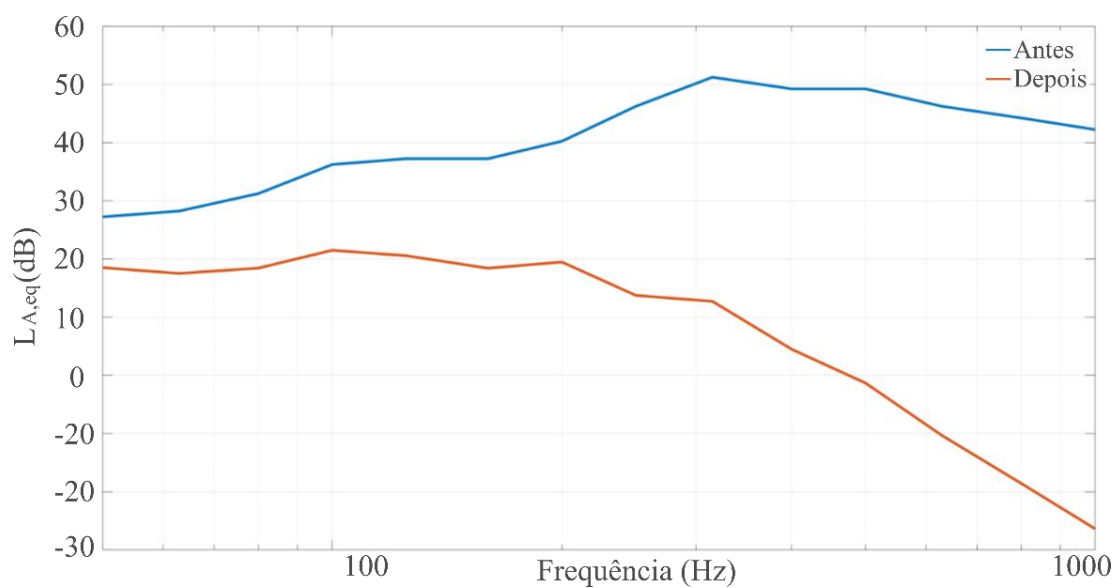


Figura 8: Nível de pressão sonora à 15 metros da linha férrea com e sem a barreira.

A partir dessa redução do nível de pressão sonora é possível analisar o nível de pressão sonora total equivalente em ponderação A, a fim de comparar com os requisitos apresentados na ABNT NBR 10151:2020. Observa-se na Figura 8 que o nível de pressão sonora gerado no local com a passagem do trem é acima dos requisitos apresentados pela norma tanto para o período diurno (50 dB) quanto para o noturno (45 dB). Após a instalação da barreira, o nível de pressão sonora se mostra abaixo dos requisitos da norma.

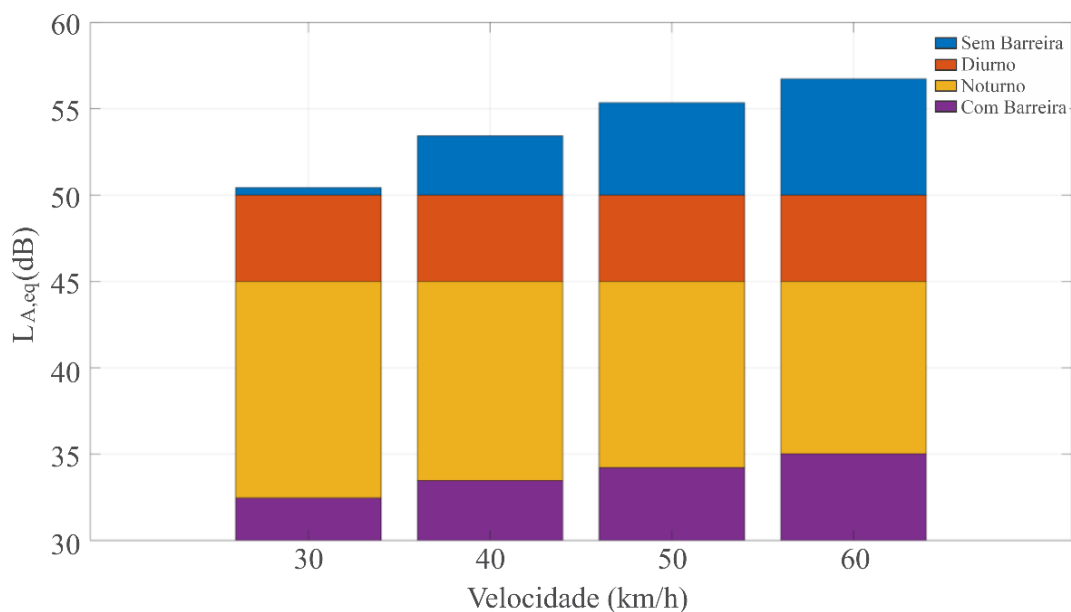


Figura 9: Limites do nível de pressão sonora para o período diurno e noturno e estimativa do nível de pressão sonora com e sem a barreira acústica.

Além disso, a Figura 9 mostra que a pressão sonora é consideravelmente maior do que os limites quando a velocidade de deslocamento do trem é maior. Ou seja, os moradores da região tendem a perceber com maior facilidade uma passagem de trem em alta velocidade do que em velocidades mais baixas. Por outro lado, após a colocação da barreira, a pressão sonora gerada pela passagem do trem se mantém abaixo dos limites indicados tanto no período diurno quanto noturno mesmo em altas velocidades.

Considerando que existam outros tipos de ruídos no local em função da paisagem sonora da região, a variação da velocidade do trem não trará uma variação significativa da sensação sonora. Isto pode fazer com que os moradores não tenham uma percepção tão significativa da velocidade em que o trem está passando e, assim, sejam menos afetados com a pressão sonora emitida pelo trem independentemente de sua velocidade.

Com relação aos diferentes materiais simulados, para que a barreira apresentasse o mesmo desempenho acústico, as espessuras necessárias para cada material foram: 10 mm para o concreto e

para o vidro, 20 mm para o acrílico e 35 mm para as placas ecológicas. Embora o sistema com placas ecológicas seja o mais espesso, optou-se por esse sistema devido a possibilidade de reciclagem de um material, o qual teria como provável destino aterros ou lixões podendo levar até 180 anos para se decompor (ECOPEX, 2017).

Com isso, a estrutura do sistema de barreira acústica/solar fotovoltaica desenvolvido consiste no modelo das placas fotovoltaicas tradicionais onde foi acrescentado uma chapa ecológica produzida com a reciclagem de embalagens cartonadas ou, como são mais conhecidas, embalagens de longa-vida, as quais são composta basicamente por alumínio, Pet, Polietileno e Polinylon. Para a estrutura de sustentação da barreira, propõem-se uma fundação e uma base de proteção para as placas de 0,70 m acima do nível do solo em concreto armado. Já para a fixação das placas propõem-se perfis metálicos verticais e horizontais. Na Figura 10 pode-se observar a forma de união entre dois módulos.

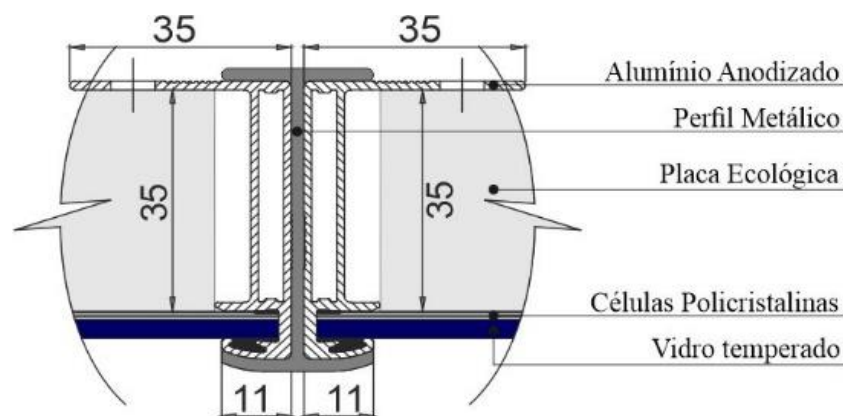


Figura 10: Encontro de dois módulos acústicos/solares fotovoltaicos (Adaptado de Canadian Solar, 2021).

Por fim, cabe calcular a geração de energia que seria possível obter com a instalação deste sistema. Então, através da área disponível de 137.760 m² para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos, a identificação da orientação norte, e a conseqüente irradiação solar local nesta orientação para a inclinação de 90°, além do rendimento do módulo utilizado de 16,8%, e considerando que o rendimento do sistema fotovoltaico como um todo seja de 80%, é possível calcular a geração total de energia do sistema em um ano, o qual resultou na produção de 18,95 GWh.

Considerando que o Rio Grande do Sul consome aproximadamente 29.621 GWh por ano (EPE, 2021) e possui cerca de 11.422.973 de habitantes (IBGE, 2020), podemos calcular o consumo aproximado por habitante de Santa Maria. Assim, com uma população estimada de 283.677 habitantes (IBGE, 2020), o município consome cerca de 735,60 GWh por ano. Dessa forma, com o

sistema fotovoltaico proposto seria possível atender aproximadamente 2,57% do consumo de energia elétrica do município.

Considerações Finais

Por conseguinte, o crescimento urbano é um fato, assim como o aumento da demanda energética para atender as necessidades que se colocam na vida moderna. As ferrovias, em contraponto, embora estejam presentes nos centros urbanos há décadas, ainda não foram efetivamente inseridas nesse contexto, de modo a respeitar a legislação vigente com relação a sua faixa de domínio, bem como atender aos níveis de pressão sonoros recomendados para uma melhor qualidade de vida da população residente nas áreas urbanas. Diante disso, se coloca a necessidade de projetos alternativos que procurem atender essas diferentes necessidades urbanas.

A simulação da barreira acústica/solar fotovoltaica demonstrou que é possível atender um percentual energético significativo de 2,57%. Com isso, seria possível suprir a necessidade tanto da variação da matriz energética de Santa Maria, que depende fortemente de duas hidrelétricas presentes na região do Corede Central, quanto fechar lacunas energéticas que se apresentam, em especial, em períodos de estiagem.

Com relação ao ruído provocado pela passagem do trem, as simulações mostraram que é possível atingir os limites impostos pela NBR 10151:2020, tanto para o período diurno quanto para o período noturno. Esse decréscimo dos ruídos nas proximidades do trilho do trem, conseqüentemente, proporcionaria uma melhor qualidade de vida aos usuários/moradores dos 13 bairros que são cortados pela ferrovia. Além disso, no caso de implantação do sistema, esse atuaria também, como uma barreira física a qual delimitaria a faixa de domínio da ferrovia e os bairros e, dessa forma, acredita-se que haveria uma maior conscientização da população para a não invasão destas áreas.

Por fim, a barreira acústica/solar fotovoltaica atendeu ambos os objetivos de atenuar os ruídos da ferrovia e produzir energia elétrica de forma renovável. Ademais, com o uso das placas ecológicas produzidas com embalagens cartonadas para o isolamento acústico, há intrinsecamente um incentivo ao reuso e a reciclagem de materiais que se colocam no mercado pela necessidade, mas que tornam-se grandes problemas caso seu descarte ocorra de forma incorreta.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsas de mestrado.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas** - Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019 Versão Corrigida 2020.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Edgard Blücher, 2006.

BRASIL. **Lei nº 10.932, de 3 de agosto de 2004**. Brasília, DF: Presidência da República, [2004]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2004/lei-10932-3-agosto-2004-533184-publicacaooriginal-16428-pl.html>. Acesso em: 18 maio. 2021.

CABRAL, L. N.; CÂNDIDO, G. A. Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11, e20180063. 2019.

ECOPEX. **Placas / Chapas Ecológicas de Caixinha de Leite**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://ecopex.com.br/produtos-diversos/chapa-ecologica/>. Acesso em: 18 maio. 2021.

EPE. Consumo de Energia Elétrica. Empresa de Pesquisa Energética. Rio Janeiro, 2021. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 05 jun. 2021.

FACCIN, D. Seguindo os trilhos do trem: a influência da ferrovia na estruturação urbana da cidade de Santa Maria/RS. *In: Colóquio Latino Americano sobre Recuperação e Preservação do Patrimônio Industrial*, VI., 2012, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo/Sp: Centro Universitário Belas Artes de São Paulo, 2012.

FAHY, F. J. *Foundations of engineering acoustics*. **Elsevier**, 2001.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Porto Alegre, junho 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 30 maio. 2021.

KOTHER, M. B. M. A importância da rede ferroviária na ocupação do Rio Grande do Sul. *In: Seminário Território, Patrimônio e Memória*, 2001, Santa Maria. **Anais [...]** Santa Maria: UFSM, 2002. p. 14-25.

KURZE, U. J.; ANDERSON, G. S. **Sound attenuation by barriers**. *Applied Acoustics*, v. 4, n. 1, p. 35-53, 1971.

KUTTRUFF, H. **Acoustics: an introduction**. CRC Press, 2007.

LAU, L. **Incentivos fiscais e políticos para energia fotovoltaica**. Minas Gerais, fev. 2018. Disponível em: <http://shareenergy.com.br/incentivos-fiscais-e-politicos-para-energia-fotovoltaica/>. Acesso em: 18 maio 2021.

LONG, M. *Architectural acoustics*. **Elsevier**, 2006.

PINHO, J. T.; GALDINO, M.A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. 2. ed. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_deEngenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

RADIASOL 2. **Laboratório de Energia Solar – LABSOL**. Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/>. Acesso em: 12 maio 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano Estratégico de Desenvolvimento do Corede Central 2015 -2030**. Santa Maria, 2017. Disponível em: <https://planejamento.rs.gov.br/upload/arquivos/201710/09144203-plano-central.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. Disponível em: <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2019.

SANTOS, I. P. Dos. **Desenvolvimento De Ferramenta De Apoio À Decisão Em Projetos De Integração Solar Fotovoltaica À Arquitetura**. 2013. 278 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC, 2013.

SIGA-ANEEL. **Sistema de Informação de Geração da ANEEL**. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 08 abr 2021.

SISGED. **Sistema de Registro de Geração Distribuída da ANEEL**. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 05 jun. 2021.

SKETCHUP: **Software de projetos 3D**. 2021. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 26 jun. 2021.

ZHANG, X. **Noise Assessment Method for High-Speed Railway Applications in Sweden**. SP Report, 2014.

UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE EXTRAÇÃO E APLICAÇÕES DE BIO-ÓLEOS

| ID 19213 |

1Bruna Strieder Machado, 2Valeska Morgana Corrêa Batistella, 3Mateus Torres Nazari, 4Cesar Vinicius Toniciolli Riguetto, 5Valdecir Ferrari, 6Aline Dettmer, 7Jeferson Steffanello Piccin

¹Universidade de Passo Fundo, e-mail: 173882@upf.br; ²Universidade de Passo Fundo, e-mail: 180262@upf.br; ³Universidade de Passo Fundo, e-mail: nazari.eas@gmail.com; ⁴Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: cesaroniciolli@gmail.com; ⁵Beifur LTDA, e-mail: beigrupo@beigrupo.com; ⁶Universidade de Passo Fundo, e-mail: alinedettmer@upf.br; ⁷Universidade de Passo Fundo, e-mail: jefersonpiccin@upf.br

Palavras-chave: Biocombustíveis; biomassa; conversão.

Resumo

A busca por alternativas que sejam menos agressivas ao meio ambiente, como a substituição de combustíveis fósseis, vem sendo estudada ao redor do mundo. Através de uma análise bibliométrica realizada, foi possível verificar que o Brasil é o país que mais publica trabalhos sobre a produção de bio-óleos, sendo que a produção científica sobre a temática de extração de bio-óleos apresentou um crescimento de 8,69% nos últimos anos. Os bio-óleos são obtidos a partir da conversão termoquímica e bioquímica de diferentes biomassas. Essa biomassa é renovável por ser proveniente de materiais lignocelulósicos ou de macro e microalgas e, assim, apresentam a vantagem de não competir com a produção de alimentos, como ocorre com os combustíveis de primeira geração. Os resíduos agroindustriais são a principal fonte de biomassa estudada para a conversão termoquímica, pois a utilização destes para a produção de bio-óleos e biocombustíveis dão origem a produtos de valor agregado, reduzindo a geração de resíduos sólidos de indústrias. Desta forma, o presente estudo bibliométrico reporta a busca por alternativas potenciais para melhorar a eficiência dos processos de pirólise de biomassa e os tratamentos empregados para melhorar as características dos bio-óleos, a fim de aumentar sua utilização.

Introdução

O rápido crescimento populacional, bem como a industrialização, tem impulsionado a busca por combustíveis e fontes de energia renováveis alternativas, motivo pelo qual, atualmente, muitos cientistas e indústrias têm focado em suas pesquisas (Rajendran et al., 2021). O principal objetivo é atender a demanda por combustível fóssil em um futuro próximo, levando em consideração a necessidade do setor de transportes, que responde por cerca de 55% da demanda global. Enquanto que, a demanda industrial por combustíveis fósseis é em torno de 45% e, segundo projeções estatísticas, uma demanda 30% maior de combustíveis fósseis será requisitada no ano de 2040, se comparada ao ano de 2010. Segundo dados do ano de 2020, a demanda global por petróleo bruto era de cerca de 101,6 milhões de barris por dia (Rajendran et al., 2021; Jain et al., 2018).

Nesse contexto, o uso de biomassas residuais para extração de bio-óleos torna-se uma alternativa promissora, em virtude de sua ampla disponibilidade e baixo custo de aquisição. Geralmente, as biomassas possuem em sua composição hemicelulose, celulose e lignina. As principais fontes de biomassa podem incluir resíduos de madeira, resíduos agroindustriais, resíduos sólidos municipais, resíduos oriundos de animais ou do processamento de alimentos, plantas aquáticas e algas (Sánchez-Borrego et al., 2021; Sun et al., 2021; Guedes et al., 2010).

A pirólise é o método comumente reportado para a conversão de biomassa sólida em combustível líquido, denominado bio-óleo. As condições empregadas na pirólise variam dependendo do produto a ser obtido, em que, para a formação de carbono, utilizam-se processos de pirólise lenta, processo caracterizado pelo longo tempo de residência, bem como uma baixa taxa de aquecimento. Em contrapartida, a pirólise rápida é mais adequada para aumentar a produção de bio-óleo sobre o biochar, onde são utilizadas temperaturas em torno de 500 °C, com tempos de residência curtos (Sánchez-Borrego et al., 2021; Javaid et al., 2010).

Diversos estudos têm reportado o processo de pirólise para obtenção de bio-óleo a partir de massa residual de gengibre (Gao et al., 2021), sementes de *Calophyllum inophyllum* L. (Rajendran et al., 2021), resíduos de frutos do mar (Kannan et al., 2020), resíduos de semente de pequi (Miranda et al., 2020), microalga *Chlorella vulgaris* (Unterlander et al., 2017), entre outros. Devido à ampla variedade de materiais residuais empregados para obtenção de bio-óleos, o objetivo desse estudo foi realizar uma revisão bibliométrica acerca dos principais métodos de extração e aplicações reportadas para bio-óleos.

Material e Métodos

O levantamento dos artigos científicos foi realizado por meio da busca de termos específicos na base de dados *Scopus*. Foram inseridos os termos "EXTRACTION" AND "BIO-OIL" AND "APPLICATION". Os termos foram refinados para palavras presentes nos títulos, resumos e/ou palavras-chave dos trabalhos, o que resultou em 103 artigos.

Os resultados obtidos na busca preliminar na base de dados *Scopus* foram explorados por meio da ferramenta *Bibliometrix* do software RStudio® versão 1.4.1106. O período de busca foi de 2009 a 2021, limitando apenas para artigos experimentais (reviews, trabalhos de conferência, livros e capítulos de livros foram excluídos da análise), totalizando 65 artigos. A partir dessas publicações, foi possível sistematizar o estado da arte e definir os principais métodos de obtenção e utilização do bio-óleo.

Resultados e Discussão

Pela análise bibliométrica, observa-se que o interesse pelo tema de extração e aplicação de bio-óleos é crescente. De acordo com a Figura 1, a taxa de crescimento anual é de 8,69% e o maior pico de publicações foi no ano de 2013. Destacam-se também certas oscilações no número de publicações durante o período analisado, com quedas na frequência de publicações nos anos de 2012, 2014, 2017 e 2019. É importante destacar que o ano de 2021 já possuía 5 publicações, mesmo com a busca realizada em maio do mesmo ano.

O país que mais publica artigos voltados para essa temática de estudo é o Brasil, seguido da China e Estados Unidos (Figura 2). Corroborando com esse dado, na Figura 3, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) é a instituição que lidera o ranking de publicações científicas sobre bio-óleos, seguida pela Universidade do Estado de Washington e Universidade do Queen.

Com relação aos principais periódicos que publicam artigos sobre bio-óleos, destacam-se: *Energy and Fuels* e *Algal Research*, seguidos por outros periódicos com enfoque em biocombustíveis, energia e valoração de resíduos, conforme Figura 4.

A Figura 5 apresenta uma nuvem de palavras, a qual foi gerada com as 50 palavras mais citadas entre as palavras-chave dos artigos analisados. A maior parte dessas 50 palavras referem-se às principais aplicações do bio-óleo extraído, como a produção de biocombustíveis e biochar, além das principais fontes de extração, que, no caso, são resíduos agroindustriais e biomassa algal. Pode-se observar que a palavra pirólise está em destaque. Através das análises realizadas, pode-se observar

que a pirólise é um dos principais métodos de obtenção de bio-óleos, podendo ser conduzida de forma lenta ou rápida.

Annual Scientific Production

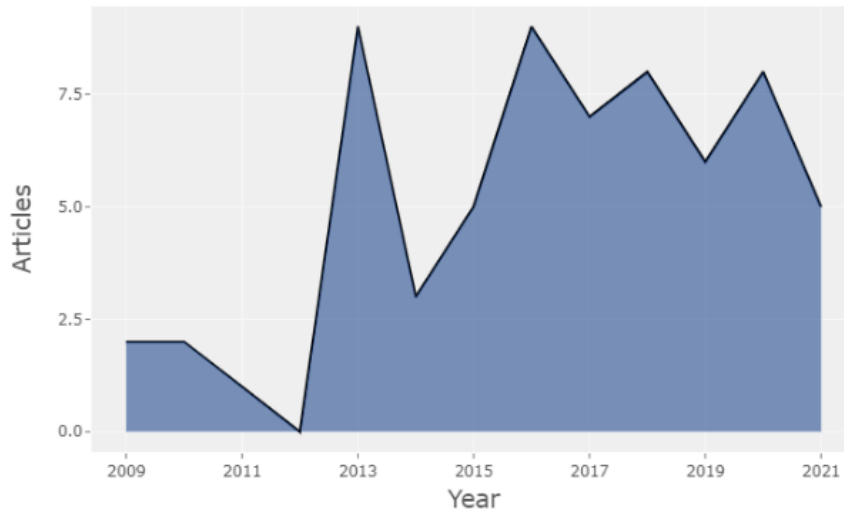


Figura 1: Produção científica anual global.

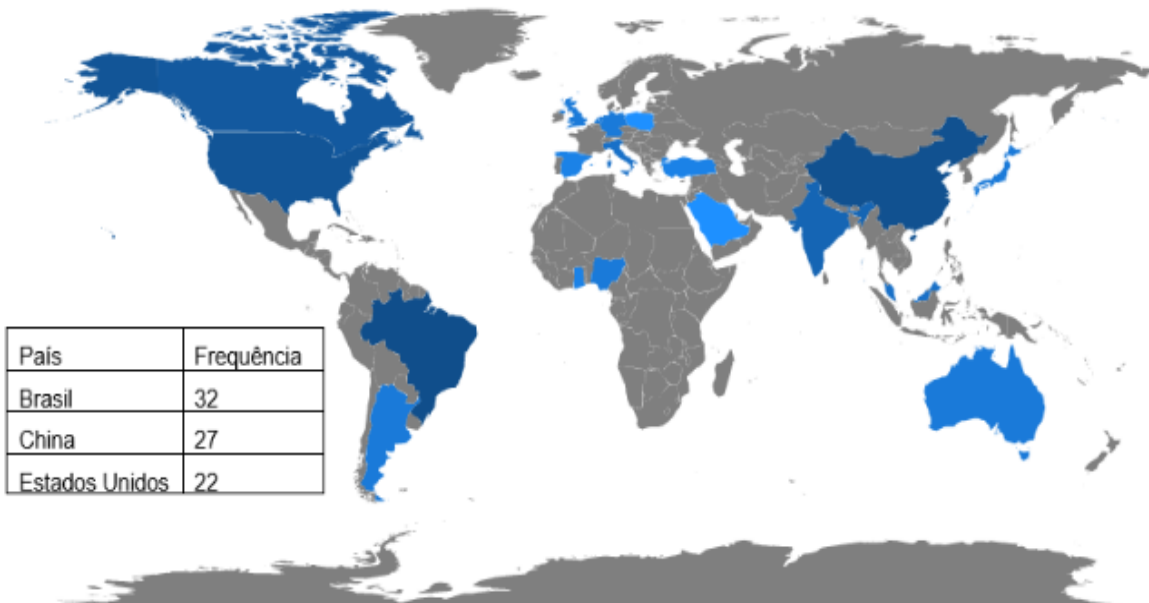


Figura 2: Produção científica por país.

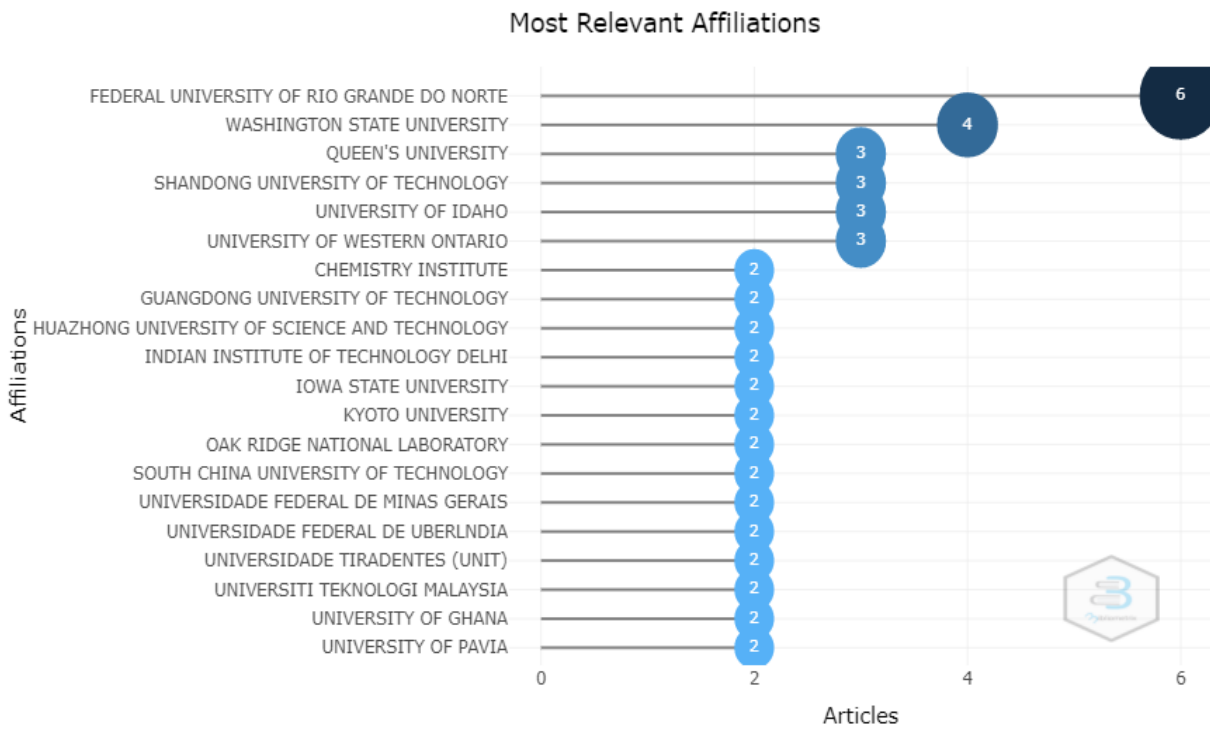


Figura 3: Principais afiliações dos autores dos artigos analisados.

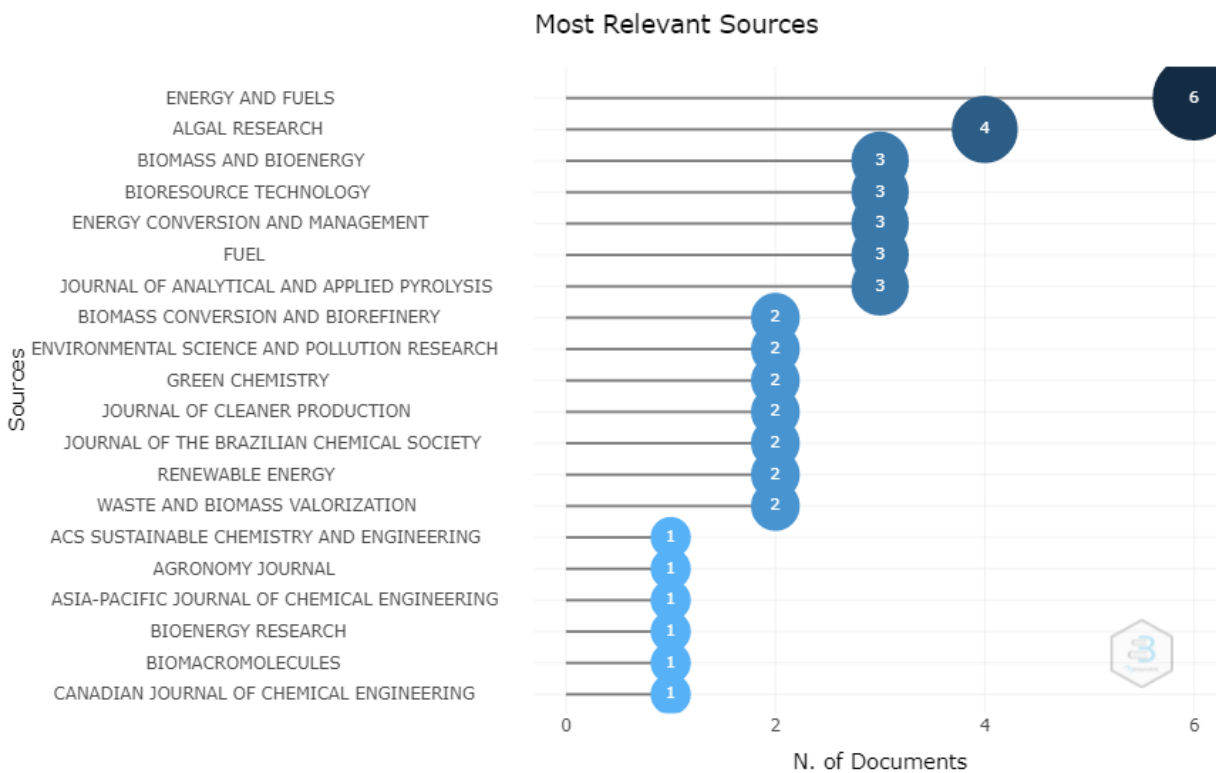


Figura 4: Principais periódicos que publicam artigos voltados à temática sobre extração e aplicação de bio-óleos.

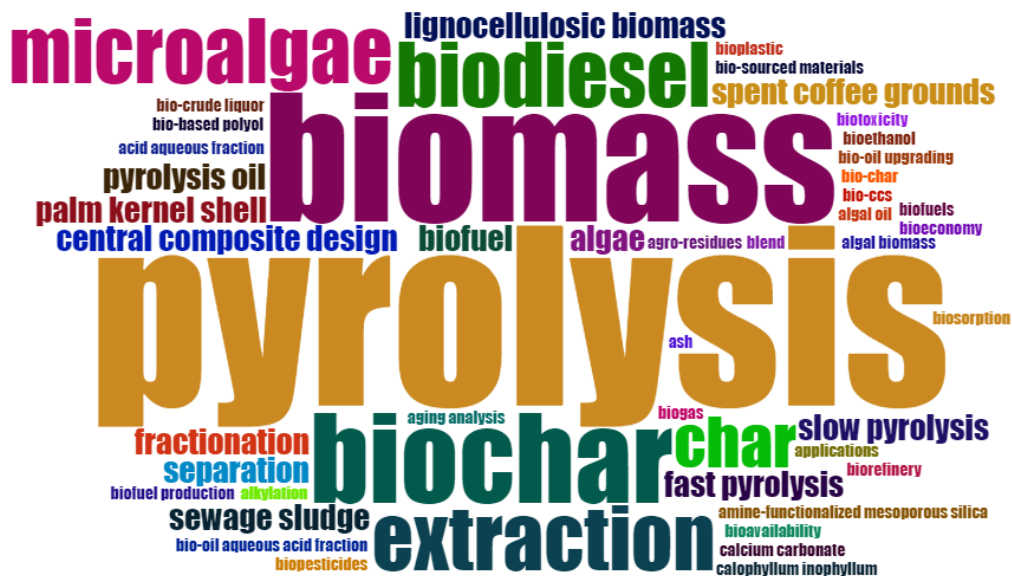


Figura 5: Nuvem de palavras com as 50 palavras mais citadas nas palavras-chave dos artigos analisados.

Bio-óleos são líquidos orgânicos que contém mais de 300 compostos orgânicos, como fenóis, furanos, álcoois, hidrocarbonetos cíclicos, aldeídos, cetonas e ácido carboxílico, os quais podem ser obtidos a partir da pirólise de biomassa (Filho et al., 2020; Silva et al., 2017; Tinwala et al., 2015; Naik et al., 2010). Os bio-óleos são considerados promissores para a substituição dos combustíveis fósseis, como gasolina e diesel, além de também poderem ser utilizados em caldeiras, fornos e turbinas, além de produzir produtos de valor agregado para indústrias (Filho et al., 2020; Silva et al., 2017; Tinwala et al., 2015). Devido à algumas características desvantajosas dos bio-óleos, como alta viscosidade, alta quantidade de água, alto teor de oxigênio e corrosividade devido ao pH baixo, sua utilização ainda é inviabilizada para determinados fins (Pontes et al., 2021; Park et al., 2018; Naik et al., 2010). No entanto, uma alternativa promissora, apresentada por Pontes et al. (2021), é incluir bio-óleos em refinarias de petróleo para aumentar a produção de carbono verde nos combustíveis convencionais. Vários métodos físicos e químicos buscam melhorar a qualidade dos bio-óleos, como extração por solvente, filtração, adição de água, esterificação, hidrodessoxigenação e destilação reativa catalítica (Zhang et al., 2021; Park et al., 2018).

Os resíduos agroindustriais são os recursos mais abundantes do planeta devido à crescente industrialização. A necessidade de utilização apropriada e agregação de valor aos resíduos agroindustriais, que possuem alta carga de matéria orgânica, incentivam a busca de estratégias para sua reutilização e reaproveitamento (Alvarez et al., 2019; Diaz et al., 2014). A conversão de resíduos agroindustriais está sendo alvo de pesquisas, pois são recursos abundantes e de baixo custo, fornecendo métodos eficientes para diminuir riscos ambientais e gerar economia para as indústrias

(Lee et al., 2008). A utilização de resíduos agroindustriais apresentam vantagens, como a redução da geração de resíduos sólidos e a valorização da matéria-prima (Bellasio et al., 2015).

Grandes quantidades de resíduos orgânicos como palhas, madeiras, biomassa verde e resíduos de alimentos, são descartados, compostados ou incinerados (Batidzirai et al., 2016). Vários estudos buscam a reutilização de resíduos, como processos de hidrólise baseados na conversão de compostos para produtos de valor agregado, utilizando métodos químicos e biológicos (Pleissner e Rumpold, 2018).

O interesse de comercialização de processos de fermentação bioquímica para a produção de biocombustíveis e produtos químicos por meio de matéria-prima renovável à base de biomassa é cada vez maior, sendo assim uma possível alternativa para a substituição de combustíveis fósseis, além de amenizar os problemas ambientais e de sustentabilidade, ao mesmo tempo que atende as preferências de consumo por produtos de menor impacto ambiental (Mondala, 2015). Para a conversão da biomassa em combustível é necessário que a biomassa passe por um processo de conversão termoquímica, também denominada pirólise (Zhang et al., 2021; Bolognesi et al., 2019; Brockhoff et al., 2010). A biomassa lignocelulósica que provém de resíduos agrícolas são fontes de energias renováveis. A sua utilização contribui para a diminuição de impactos ambientais minimizando a produção de CO₂ e gases de efeito estufa (Paul et al., 2018; Qin et al., 2018; Naik et al., 2010).

Os biocombustíveis são classificados em primeira, segunda e terceira geração. Os biocombustíveis de primeira geração originam-se de matérias-primas que são utilizadas na alimentação, como o milho e a cana-de-açúcar, para a produção de bioetanol, biodiesel etc (Saravanan et al., 2018; Naik et al., 2010). Os biocombustíveis de segunda geração têm como matérias-primas produtos não alimentares e resíduos (Naik et al., 2010). Já os e os biocombustíveis de terceira geração são produzidos a partir de macro e microalgas (Naik et al., 2010). A biomassa lignocelulósica refere-se a produção de biocombustíveis de segunda geração, por ser uma matéria-prima mais acessível e sem impactos na competição com a produção de alimentos (Naik et al., 2010).

As algas são organismos fotossintéticos, unicelulares ou pluricelulares, geralmente divididos em macroalgas e microalgas com base em sua morfologia e tamanho, variando de até 70 metros a micrômetros, respectivamente (Syrpas and Venskutonis 2020; Saber et al., 2016; John et al., 2011; Demirbas, 2010). Macro e microalgas apresentam diversas aplicações, como biocombustíveis, biofertilizantes, nutrição alimentar, biorremediação, cosmetologia e farmacologia, pois podem produzir uma variedade de biocompostos, como antioxidantes, pigmentos, vitaminas, compostos fenólicos, peptídeos, lipídios, proteínas e carboidratos (Nazari et al., 2021; Rempel et al., 2021; Rigueto et al., 2020; De Souza et al., 2019; Li et al., 2019; Sudhakar et al., 2019; Kumar et al., 2016).

Em relação aos biocombustíveis, estes podem ser definidos como “combustível produzido a partir de organismos vivos” (Alaswad et al., 2015) ou ainda como “combustível sólido, líquido ou gasoso produzido predominantemente a partir de biomassa” (Demirbas et al., 2011). Há diferentes tipos de biocombustíveis e em diferentes formas de estado. Dentre os gasosos, pode-se citar o biogás e o biohidrogênio. O biocarvão é um representante de biocombustível em estado sólido. E, por fim, o bioetanol, biobutanol, biometanol, biodiesel, bio-óleo são biocombustíveis líquidos (Sindhu et al., 2019). Algas são consideradas excelentes matérias-primas para produzir biocombustíveis, tais como o bio-óleo (Saber et al., 2016; Guo et al. 2015; Chaiwong et al., 2013).

Para gerar energia a partir de algas, podem ser empregadas diferentes técnicas de conversões, como bioquímicas (fermentação e transesterificação) e termoquímicas (gaseificação, pirólise, liquefação e hidrogenação) (Guo et al. 2015; Chaiwong et al., 2013). De acordo com Saber et al. (2016), a liquefação hidrotérmica e a pirólise são os principais processos para produzir bio-óleo a partir de algas, os quais são empregados com a finalidade de quebrar carboidratos, proteínas e lipídios em uma fase líquida orgânica, conhecida como bio-óleo.

A liquefação hidrotérmica é reportada como sendo a técnica mais promissora de conversão de biomassa algal, que baseia-se em um processo de natureza física e química sob alta temperatura (> 250 °C) e alta pressão (Guo et al., 2015). As propriedades físico-químicas do bio-óleo resultante dependem do tipo de matéria-prima, como espécies de algas e sua composição intracelular, e de parâmetros operacionais, como temperatura, tempo de reação, atmosfera de reação, catalisadores, entre outros (Saber et al., 2016; Guo et al., 2015).

Como mencionado anteriormente, o bio-óleo possui algumas propriedades físico-químicas que limitam sua aplicação como combustível de transporte. Nesse sentido, diversas tecnologias vêm sendo estudadas para melhorar essas propriedades e, conseqüentemente, sua qualidade, visando sua utilização como biocombustível líquido. Dentre essas técnicas, pode-se citar a adição de solventes, emulsificação, esterificação, fluidos supercríticos, hidrogenação, craqueamento de zeólito, craqueamento catalítico, reforma a vapor, extração de produtos químicos do bio-óleo, etc. (Ahamed et al. 2021; Saber et al., 2016). Esses métodos possuem suas particularidades e, assim, apresentam vantagens e desvantagens entre si (Ahamed et al. 2021; Saber et al., 2016).

A pirólise vem ganhando grande atenção ao redor do mundo, pois permite a utilização completa de seus produtos, bio-óleo, bio-gás e biochar, sendo uma fonte de energia abundante e renovável (Zhang et al., 2021; Filho et al., 2020; Bolognesi et al., 2019; Silva et al., 2017; Pilon e Lavoie, 2013). O processo da pirólise consiste na degradação térmica (400-1000 °C) da biomassa (materiais lignocelulósicos) sem a presença de oxigênio, podendo ser classificada como pirólise convencional ou rápida, dependendo do tempo de residência (Filho et al., 2020; Bolognesi et al., 2019; Pilon e

Lavoie, 2013). A pirólise convencional ou lenta maximiza a produção de fração sólida (biochar) com alto tempo de residência e aquecimento gradual (Bolognesi et al., 2019; Tinwala et al., 2015). Já a pirólise rápida ou flash, tem baixo tempo de residência e resulta em maior quantidade de produtos líquidos e gasosos (bio-óleo e biogás) (Bolognesi et al., 2019; Tinwala et al., 2015; Brockhoff et al., 2010).

O biochar é produzido apenas pela pirólise da biomassa e possui composição variada, dependendo da biomassa e conteúdo de carbono presente (Bolognesi et al., 2019; Brockhoff et al., 2010). Esse subproduto da pirólise pode ter diferentes aplicações, como combustível sólido, para limpeza de gases de combustão, auxiliar na remediação de locais contaminados, condicionador de solo para terras agrícolas, reduz a lixiviação de compostos químicos no solo, material de construção, dentre outros (Bolognesi et al., 2019. Brockhoff et al., 2010).

Considerações Finais

A partir deste trabalho foi possível observar um aumento de interesse por parte da comunidade científica internacional sobre extração e aplicação de bio-óleos nos últimos anos. Dentre os países, o Brasil destaca-se como o que mais publica artigos experimentais nessa temática. Verificou-se também que o bio-óleo pode ser obtido através de conversões bioquímicas e termoquímicas de diferentes matérias-primas, especialmente resíduos agroindustriais e biomassa algal. Embora seja proveniente de fontes renováveis, esse bio-óleo ainda possui propriedades que limitam usos posteriores. Contudo, diferentes técnicas vêm sendo estudadas ao redor do mundo para melhorar sua composição e, assim, tornar viável a utilização do bio-óleo como combustível de transporte.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências Bibliográficas

- Ahamed, T. S.; Anto, S.; Mathimani, T.; Brindhadevi, K.; Pugazhendhi, A; 2021. Upgrading of bio-oil from thermochemical conversion of various biomass–Mechanism, challenges and opportunities. *Fuel*, v. 287, p. 119329.
- Alaswad, A.; Dassisti, M.; Prescott, T.; Olabi, A. G; 2015. Technologies and developments of third generation biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 51, p. 1446-1460.

- Alvarez, M. V.; Cabred, S.; Ramirez, C. L.; Fanovich, M. A.; 2019. Valorization of an agroindustrial soybean residue by supercritical fluid extraction of phytochemical compounds. *Journal of Supercritical Fluids*, v. 143, p. 90-96.
- Batidzirai, B.; Valk, M.; Wicke, B.; Junginger, M.; Daioglou, V.; Euler, W.; Faaij, A. P. C.; 2016. Current and future technical, economic and environmental feasibility of maize and wheat residues supply for biomass energy application: Illustrated for South Africa. *Biomass and Bioenergy*, v. 92, p. 106-129.
- Bellasio, M.; Mattanovich, D.; Sauer, M.; Marx, H.; 2015. Organic acids from lignocellulose: *Candida lignohabitans* as a new microbial cell factory. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, v. 42, p. 681-691.
- Bolognesi, S.; Bernardi, G.; Callegari, A.; Dondi, D.; Capodaglio A. G.; 2019. Biochar production from sewage sludge and microalgae mixtures: properties, sustainability and possible role in circular economy. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 11, p. 289-299.
- Brockhoff, S. R.; Christians, N. E.; Killorn, R. J.; Horton, R.; Davis, D. D.; 2010. Physical and mineral-nutrition properties of sand-based turfgrass root zones amended with biochar. *Agronomy Journal*, v. 102, p. 1627-1631.
- Chaiwong, K.; Kiatsiriroat, T.; Vorayos, N.; Thararax, C.; 2013. Study of bio-oil and bio-char production from algae by slow pyrolysis. *Biomass and bioenergy*, v. 56, p. 600-606.
- De Souza, M. P.; Hoeltz, M.; Gressler, P. D.; Benitez, L. B.; Schneider, R. C.; 2019. Potential of microalgal bioproducts: general perspectives and main challenges. *Waste and Biomass Valorization*, v. 10, p. 2139-2156.
- Demirbas, A.; 2010. Use of algae as biofuel sources. *Energy conversion and management*, v. 51, p. 2738-2749.
- Demirbas, M. F.; Balat, M.; Balat, H.; 2011. Biowastes-to-biofuels. *Energy Conversion and Management*, v. 52, 1815-1828.
- Diaz, A. B.; Blandino, A.; De Oory, I.; Ricardo, M.; Munoz, M.; Caro, I.; 2014. Utilization of agroindustrial residues for hydrolytic enzymes production. *New Biotechnology*, v. 31, p. S209.
- Filho, P. J. S.; Silveira, L. A.; Betemps, G. R.; Oliveira, P. K.; Sampaio, D. M.; Santos, D. G.; 2020. Use of lyophilization as analytical strategy for chromatographic characterization of aqueous phase of bio-oil produced by rice husk pyrolysis. *Microchemical Journal*, v. 152, p. 104457.
- Gao, Y.; Ozel, M. Z.; Dugmore, T.; Sulaeman, A.; Matharu, A. S.; 2021. A biorefinery strategy for spent industrial ginger waste. *Journal of hazardous materials*, v. 401, p. 123400.
- Guedes, C. L. B.; Adão, D. C.; Quessada, T. P.; Borsato, D.; Galão, O. F.; Di Mauro, E.; Rocha, J. D.; 2010. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. *Química Nova*, v. 33(4), p. 781-786.
- Guo, Y.; Yeh, T.; Song, W.; Xu, D.; Wang, S.; 2015. A review of bio-oil production from hydrothermal liquefaction of algae. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 48, p. 776-790.
- Jain, M.; Chandrakant, U.; Orsat, V.; Raghavan, V.; 2018. A review on assessment of biodiesel production methodologies from *Calophyllum inophyllum* seed oil. *Industrial crops and products*, v. 114, p. 28-44.
- Javaid, A.; Ryan, T.; Berg, G.; Pan, X.; Vispute, T.; Bhatia, S. R.; Huber, G. W.; Ford, D. M.; 2010. Removal of char particles from fast pyrolysis bio-oil by microfiltration. *Journal of Membrane Science*, v. 363(1-2), p. 120-127.
- John, R. P.; Anisha, G. S.; Nampoothiri, K. M.; Pandey, A.; 2011. Micro and macroalgal biomass: a renewable source for bioethanol. *Bioresource technology*, v. 102, n. 1, p. 186-193.

- Kannan, S.; Burelle, I.; Orsat, V.; Raghavan, G. V.; 2020. Characterization of bio-crude liquor and bio-oil produced by hydrothermal carbonization of seafood waste. *Waste and Biomass Valorization*, v. 11(7), p. 3553-3565.
- Kumar, K.; Ghosh, S.; Angelidaki, I.; Holdt, S. L.; Karakashev, D. B.; Morales, M. A.; Das, D.; 2016. Recent developments on biofuels production from microalgae and macroalgae. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 65, p. 235-249.
- Lee, J.; Koo, B.; Choi, J.; Choi, D.; Choi, I.; 2008. Avaliação de toras de cogumelos residuais como um recurso potencial de biomassa para a produção de bioetanol. *Bioresource Technology*, v. 99, pp. 2736-2741.
- Li, Y.; Lammi, C.; Boschin, G.; Arnoldi, A.; Aiello, G.; 2019. Recent advances in microalgae peptides: cardiovascular health benefits and analysis. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 67, p. 11825-11838.
- Miranda, M. R.S.; Veras, C. A. G.; Ghesti, G. F.; 2020. Charcoal production from waste pequi seeds for heat and power generation. *Waste Management*, v. 103, p. 177-186.
- Mondala, A. H.; 2015. Direct fungal fermentation of lignocellulosic biomass into itaconic, fumaric, and malic acids: current and future prospects. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, v. 42, p. 487-506.
- Naik, S. N.; Goud, V. V.; Rout, P.; Dalai, A. K.; 2010. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 578-597.
- Nazari, M. T.; Mazutti, J.; Basso, L. G.; Colla, L. M.; Brandli, L.; 2020. Biofuels and their connections with the sustainable development goals: a bibliometric and systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, p. 1-18.
- Park, L. K-E.; Satinover, S. J.; Yiaccoumi, S.; Mayes, R. T.; Borole, A. P.; Tsouris, C.; 2018. Electrosorption of organic acids from aqueous bio-oil and conversion into hydrogen via microbial electrolysis cells. *Renewable Energy*, v. 125, p. 21-31.
- Paul, S.; Dutta, A.; 2018. Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 130, p. 164-174.
- Pilon, G.; Lavoie, J-M.; 2013. Pyrolysis of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) at low temperatures in N₂ and CO₂ environments: a study on chemical composition of chars extracts and bio-oils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 101, p. 122-131.
- Pleissner, D.; Rumpold, B. A.; 2018. Utilization of organic residues using heterotrophic microalgae and insects. *Waste Management*, v. 72, p. 227-239.
- Pontes, N. S.; Silva, R. V. S.; Ximenes, V. L.; Pinho, A. R.; Azevedo, D. A.; 2021. Chemical speciation of petroleum and bio-oil coprocessing products: investigating the introduction of renewable molecules in refining processes. *Fuel*, v. 288, p. 119654.
- Qin, Z.; Zhuang, Q.; Cai, X.; Huang, Y.; Jiang, D.; Lin, E.; Liu, Y.; Tang, Y.; Wang, M. Q.; 2018. Biomass and biofuels in China: toward bioenergy resource potentials and their impacts on the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 2387-2400.
- Rempel, A.; Gutkoski, J. P.; Nazari, M. T.; Biolchi, G. N.; Cavanhi, V. A. F.; Treichel, H.; Colla, L. M.; 2021. Current advances in microalgae-based bioremediation and other technologies for emerging contaminants treatment. *Science of The Total Environment*, v. 772, p. 144918.
- Rigueto, C. V. T.; Nazari, M. T.; De Souza, C. F.; Cadore, J. S.; Brião, V. B.; Piccin, J. S.; 2020. Alternative techniques for caffeine removal from wastewater: An overview of opportunities and challenges. *Journal of Water Process Engineering*, v. 35, p. 101231.

Saber, M.; Nakhshiniev, B.; Yoshikawa, K.; 2016. A review of production and upgrading of algal bio-oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 918-930.

Sánchez-Borrego, F. J.; Álvarez-Mateos, P.; García-Martín, J. F.; 2021. Biodiesel and Other Value-Added Products from Bio-Oil Obtained from Agrifood Waste. *Processes*. v. 9(5), p. 797.

Saravana, A. P.; Mathimani, T.; Derivam, G.; Rajedran, K.; Pugazhendi, A.; 2018. Biofuel policy in India: a review of policy barriers in sustainable marketing of biofuel. *Journal of Cleaner Production*, v. 193, p. 734-747.

Silva, M. P.; Moyano, E. L.; Scopel, A. L.; 2017. Potential applications of biochar and terpene-enriched bio-oil produced from a semi-arid native Asteraceae. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 126, p. 39-49.

Sindhu, R.; Binod, P.; Pandey, A.; Ankaram, S.; Duan, Y.; Awasthi, M. K.; 2019. Biofuel production from biomass: toward sustainable development. In: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier, p. 79-92.

Sudhakar, M. P.; Kumar, B. R.; Mathimani, T.; Arunkumar, K.; 2019. A review on bioenergy and bioactive compounds from microalgae and macroalgae-sustainable energy perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 228, p. 1320-1333.

Sun, Y.; Li, C.; Zhang, S.; Li, Q.; Gholizadeh, M.; Wang, Y.; Hu, S.; Xiang, J.; Hu, X.; 2021. Pyrolysis of soybean residue: Understanding characteristics of the products. *Renewable Energy*, v. 174, p. 487-500.

Syrpas, M.; Venskutonis, P. R.; 2020. Algae for the production of bio-based products. In: *Biobased Products and Industries*, Elsevier, p. 203-243.

Tinwala, F.; Mohanty, P.; Parmar, S.; Patel, A.; Pant, K. K.; 2015. Intermediate pyrolysis of agro-industrial biomasses in bench-scale pyrolyser: product yields and its characterization. *Bioresource Technology*, v. 188, p. 258-264.

Unterlander, N.; Champagne, P.; Plaxton, W. C.; 2017. Lyophilization pretreatment facilitates extraction of soluble proteins and active enzymes from the oil-accumulating microalga *Chlorella vulgaris*. *Algal research*, v. 25, p. 439-444.

Zhang, L.; Chao, L.; Zhang, S.; Wang, Y.; Esmaeili, V.; Gholizadeh, M.; 2021. Fates of heavy organics of bio-oil in hydrotreatment: The key challenge in the way from biomass to biofuel. *Science of the Total Environment*, v. 778, p. 146321.

DESAFIOS PARA A GESTÃO DE ENERGIA PÚBLICA NO BRASIL: GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

| ID 19261 |

1Ana Claudia Valério Soares, 2Nicolas Roberto Neckel, 3Renan Henrique Oliveira Longhini, 4 Generoso De Angelis Neto

1Universidade Estadual de Maringá, e-mail: anaclaudiavsoares@gmail.com; 2Universidade Estadual de Maringá, e-mail: nicolas_neckel@hotmail.com; 3Universidade Estadual de Maringá, e-mail: rrlonghini@gmail.com; 4Universidade Estadual de Maringá, e-mail: ganeto@uem.br

Palavras-chave: Microgeração de energia solar; Resolução nº482 ANEEL; Crise energética.

Resumo

As crises hídricas mudaram a maneira de consumir energia elétrica no Brasil. O principal tipo de energia utilizado no país é o hidrelétrico. As secas e a falta de investimento no setor expuseram a fragilidade do sistema, obrigando os usuários a diminuírem o consumo. Esse comportamento foi fomentado com o advento e uso das bandeiras tarifárias.

Além das mudanças estruturais na maneira de consumir, buscou-se concomitantemente a procura por novas fontes de energia, e pela criação de produtos com maior eficiência energética, esta, aliás, é um dos pontos principais do desenvolvimento sustentável urbano.

Nesse interim a energia solar fotovoltaica surgiu a fim de suprir a demanda. Essa, converte a radiação solar em eletricidade. É um tipo de energia limpa e tem caráter renovável já que utiliza o sol que é abundante na maior parte da terra. Além dos benefícios ao meio ambiente, outro ponto vantajoso ao uso é a diminuição na fatura de energia.

A maior parte da energia disponível para ser utilizada no Brasil advém ainda das fontes não renováveis. Apesar do aumento das renováveis, a participação da energia solar na matriz energética ainda é baixo. Existem dois tipos de energia solar, a saber, a energia térmica e a fotovoltaica. A energia solar térmica é empregada no aquecimento de água enquanto que a fotovoltaica é utilizada para gerar energia. Para isso é necessário um sistema fotovoltaico, que é responsável por transformar a corrente direta obtida através da radiação solar em corrente alternada, para uso nas edificações.

O sistema fotovoltaico mais comum é o conectado a rede e necessita basicamente do painel solar, um inversor, a stringbox e um medidor bidirecional. O painel solar é composto pelos módulos fotovoltaicos, que é a parte mais sensível e também mais importante do sistema, pois são nas células fotovoltaicas onde a radiação solar é convertida em corrente direta.

Ainda há muitos desafios a serem enfrentados para fazer com que o sistema seja amplamente empregado no Brasil, principalmente os de micro e minigeração conectados à rede, e o objetivo do trabalho é mostrar quais são estes desafios.

Foi realizada uma pesquisa exploratória para identificar os principais gargalos que ainda devem ser solucionados. Para análise dos dados foi dada preferência a artigos científicos publicados recentemente. Através do estudo verificou-se que as áreas que merecem atenção são a instalação do sistema fotovoltaico, a tarifa de compensação de energia e os impactos ambientais.

No que se refere a instalação, é preciso salientar que é necessária a utilização de mão de obra especializada, e é essencial um projeto técnico para que o sistema desempenhe a função adequada, já que a demanda da edificação deve ser calculada de maneira individualizada. Outro fator importante é a posição do sistema que deve obedecer o ângulo de incidência do sol na terra, fator este que interfere diretamente na produção de energia. Além disso destaca-se o tempo de retorno financeiro do sistema, que também deve variar de acordo com a magnitude do investimento que foi realizado e as características técnicas da região.

Sobre a tarifa de compensação financeira, o usuário conectado a rede fornece energia ao sistema público, e as medidas do que foi gerado e consumido são registrados por um relógio bidirecional. Se o saldo for positivo, a empresa concessionária registra o valor em créditos que podem ser abatidos em até 60 dias, caso contrário, o consumidor deve pagar a diferença para a agência. Nesse sentido é contraproducente para o proprietário ter um sistema superdimensionado, já que pode não conseguir usar os créditos. O outro extremo também é desinteressante, já que levará mais tempo para que o usuário tenha retorno financeiro.

Acerca dos impactos ambientais, este é um tópico pouco explorado no setor no Brasil. A vida útil dos módulos solares data de 25 anos, sem considerar as outras partes do sistema que têm vida útil menor, gerando um volume considerável de resíduos. Atualmente o descarte dos módulos ainda não é totalmente regulamentado. Ele pode ser caracterizado como um resíduo sólido perigoso Classe I pela ABNT NBR 10004:2004 por conter diversos metais poluentes e tóxicos em sua composição.

Existem muitas propostas para a destinação dos resíduos entre os quais pode-se destacar a logística reversa e a reciclagem. A reciclagem é muito interessante do ponto de vista ambiental, pois alguns metais podem ser reutilizados evitando a exploração de novas matérias primas, porém ainda não há um processo que consiga aproveitar a totalidade dos elementos.

Introdução

A crise energética de 2001, evento que ficou marcado na história brasileira como ‘Apagão’, mudou o comportamento da população no que tange ao consumo de energia elétrica, bem como impulsionou as discussões acerca da eficiência energética e maneiras mais sustentáveis de geração de energia.

No referido período, a principal fonte de geração de energia era a hidrelétrica, e o alto consumo, a falta de investimentos no setor somados aos períodos históricos de seca ameaçaram o país.

A partir desse momento, fontes de energia alternativa começaram a ser estudadas com mais afinco, como também o desenvolvimento de novos equipamentos elétricos e eletrônicos com maior eficiência.

Em 2015 o Brasil passou por uma nova crise energética e a decisão tomada neste momento foi forçar a população a gastar menos energia. Foi instituída então uma nova tarifa energética que é popularmente chamada de “Bandeira vermelha” que incrementava R\$ 4,50 a cada 100kW que era consumido em baixa tensão. (OLIVEIRA, 2017)

As bandeiras tarifárias de energia prevalecem até hoje no Brasil, mas mais que diminuir o consumo, as autoridades no assunto estudam novas formas de gerar energia limpa e eficiente.

A eficiência energética é um dos pontos fulcrais do desenvolvimento sustentável urbano, e os equipamentos de energia solar começaram a se instalar no Brasil com a promessa de suprir a demanda energética e diminuir os gastos com as contas de energia domésticas e empresariais.

A energia solar fotovoltaica é gerada pela conversão da radiação solar em eletricidade. Este sistema de geração é considerado limpo e renovável já que não esgota recursos naturais durante seu funcionamento e usa o sol que é abundante na terra e disponível na maior parte do dia.

Outro fator que influencia o uso do sistema fotovoltaico para geração de energia de edificações é a diminuição do valor da conta de energia elétrica. Através do sistema de microgeração conectado à rede o usuário converte o excedente da produção em créditos, sendo abatido posteriormente na fatura.

Apesar dos inúmeros benefícios da geração de energia solar fotovoltaica, muitos desafios ainda são impostos à sua popularização, como os custos de implantação, manutenção do sistema, vida útil das placas fotovoltaicas, reciclagem dos resíduos e ainda as alterações de cobranças nas tarifas de energia.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar as dificuldades que o sistema de geração de energia solar fotovoltaica integrado ao sistema convencional pode gerar aos municípios brasileiros para que este sistema seja utilizado em larga escala.

Referencial Teórico

Matriz Energética Brasileira

A matriz energética pode ser compreendida como uma representação de caráter quantitativo das fontes energéticas utilizados por cada país. Estas fontes podem ser renováveis como a água, o sol e o vento, e, portanto, não se esgotam com o uso; ou podem ser não renováveis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural, que se esgotam com o uso e demoram milhares de anos para se recompor.

O Brasil utiliza tanto as fontes renováveis quanto as não renováveis em sua matriz energética. De acordo com a Resenha Energética Brasileira (2020), a maior fonte de energia utilizada no país ainda é não renovável (53,9%) no qual o maior percentual é de petróleo e seus derivados, enquanto que nas fontes renováveis (46,1%) a maior representante é a energia hidrelétrica.

Entre os anos 2018 e 2019 ocorreu um aumento da participação das fontes de energia renovável, passando de 45,5% para 46,1%. Na figura 1 é possível observar qual foi a oferta interna de energia solar no Brasil em 2019.

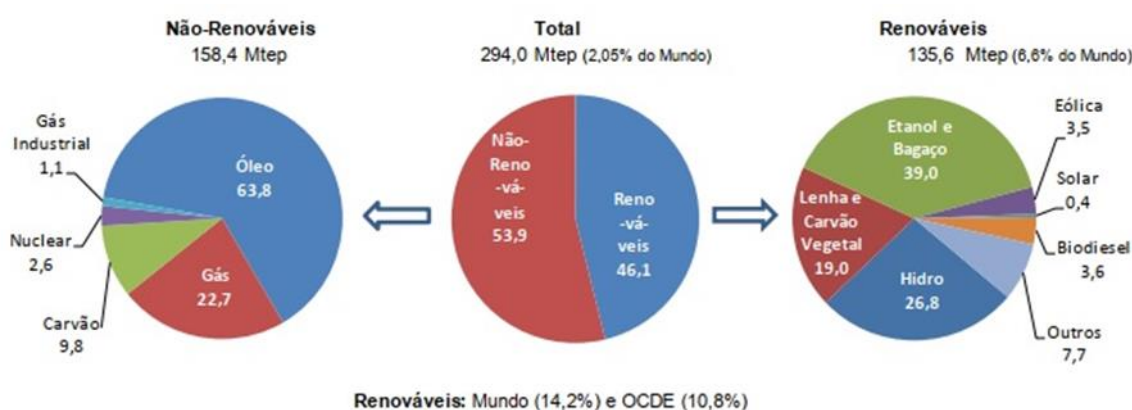


Figura 1: Oferta interna de energia no Brasil.
Fonte: Resenha Energética Brasileira (2020, p.5)

Segundo a Resenha Energética Brasileira (2020), as fontes renováveis de produção de energia elétrica tiveram aumento de 2,8% e são sustentadas por altas em produtos da cana, biodiesel, eólica e solar.

Sistema de energia solar

A energia solar é o nome dado a radiação solar que é procedente do sol e emitida através de ondas eletromagnéticas. O sol tem papel fundamental no globo terrestre e influencia todas as formas de vida na Terra.

A radiação solar é emitida de maneiras diferentes à Terra. É chamada de radiação direta aquela que incide perpendicularmente no globo; radiação difusa é a que sofre algum desvio na incidência e; radiação refletida é a proveniente dos raios que são refletidos ao Sol.

Os sistemas de energia solar visam transformar a radiação do Sol em energia para os diversos usos cotidianos, em outras palavras busca a “conversão direta da energia solar radiante em energia elétrica de corrente contínua” (CRESESB, 2014).

Destacam-se dois tipos de energia solar: a energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica.

Energia solar térmica

Segundo CRESESB (2014) a energia solar térmica é a quantidade de energia sob a forma de calor que um corpo pode absorver a partir da radiação solar que incide nesse. O equipamento responsável por absorver este tipo de energia é o coletor solar.

Este é o princípio utilizado nos aquecedores solares, que são responsáveis pelo aquecimento de água de diversas edificações.

Para a CRESESB (2014) existe uma tendência de que este tipo de energia seja utilizado também para aquecimento e refrigeração de ambientes residenciais e comerciais, ou também seja implantado em sistemas urbanos de aquecimento.

Energia solar fotovoltaica

Este tipo de energia é obtido pela conversão direta da luz em eletricidade, com o auxílio de uma célula fotovoltaica que é confeccionada a partir de um material semicondutor e é a unidade mais importante do processo de conversão. (CRESESB, 2014)

Para o processo de obtenção, conversão, uso e armazenamento da energia solar fotovoltaica é necessário existir um sistema fotovoltaico.

Sistema fotovoltaico

Segundo o CRESESB (2014) o sistema fotovoltaico realiza a conversão da radiação solar em eletricidade e é formado por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e pode ou não conter um bloco de armazenamento.

Existem vários tipos de sistemas fotovoltaicos como pode ser observado no quadro 1.

Dentre os sistemas apresentados no quadro 1 destacam-se o sistema fotovoltaico autônomo e o sistema híbrido de energia. O sistema autônomo é indicado para ser aplicado em locais de difícil acesso à energia elétrica como por exemplo as edificações em área rural. Além da possibilidade de o cálculo de demanda ser mais preciso, nesses casos também ocorre a economia de gastos que seriam aplicados na infraestrutura da rede convencional.

O Sistema híbrido é mais interessante a ser utilizado dentro dos centros urbanos, já que é muito conveniente ao usuário, permitindo a utilização tanto da energia solar quanto a convencional e ainda outros tipos de fontes renováveis.

Quadro 1: Tipos de sistemas fotovoltaicos.

Nome do Sistema	Descrição
Sistema fotovoltaico conectado à rede	Funcionamento dependente da rede elétrica, tendo a produção de energia diretamente entregue a rede
Sistema fotovoltaico de bombeamento de água	Uso exclusivo para o acionamento do conjunto motobomba de alimentação de água
Sistema fotovoltaico domiciliar	Uso para domicílios individuais
Sistema fotovoltaico integrado a edificações	Para edificações novas ou existentes, sendo aplicado em telhados ou fachadas, podem ser utilizados como fonte de energia ou elementos arquitetônicos para outros fins.
Sistema fotovoltaico isolado ou autônomo	Funcionamento independente de rede elétrica, em geral são utilizadas baterias para armazenamento de energia
Sistema híbrido de energia	Utiliza mais de uma fonte primária de energia (renovável ou não) dependendo da disponibilidade do recurso.

Fonte: adaptado CRESCESB (2014, p.44)

O sistema mais conhecido e empregado nas residências é o Sistema Fotovoltaico Domiciliar conectado à rede. Este sistema é muito útil para temporadas em que a irradiação solar não é eficiente para suprir a demanda energética da edificação e também para quando há algum problema no sistema.

De acordo com o que pode ser observado no quadro 1, pode-se depreender que as instalações dos sistemas fotovoltaicos ocorrem de duas maneiras distintas, ou tem operação isolada (*stand alone*) ou são conectadas à rede (*on grid*).

Rios e Rios (2017) caracterizaram as partes de um sistema fotovoltaico como apresentado no quadro 2.

Quadro 2: Componentes do sistema fotovoltaico.

Componentes do Sistema	Descrição
Módulo Solar Fotovoltaico	É responsável por captar a irradiação solar e transformá-la em energia elétrica.
Inversor de Frequência	É a parte principal pela geração fotovoltaica. Recebe a energia em corrente contínua gerada pelos módulos e transforma em corrente alternada. O inversor fica conectado ao medidor.
String Box	Caixa onde estão as ligações do gerador fotovoltaico e também as partes de proteção do sistema.
Medidor Bidirecional	Equipamento que mede o fluxo de energia que entra e sai da propriedade onde está instalado o sistema

Fonte: adaptado de Rios e Rios (2017, p.120)

O inversor também é responsável por controlar o fluxo da potência que está indo para a rede, possibilitando a geração de créditos na conta de luz. A energia fornecida ao inversor vem das *strings* que estão ligados em paralelo, e cada *string* representa a ligação em série de vários módulos (RIOS e RIOS, 2017).

Um sistema fotovoltaico simples pode ser então entendido como a união dos módulos, um inversor, um diodo de bloqueio, DPS (dispositivo de proteção de surtos) e aterramento. É importante salientar, no entanto, que o DPS e o aterramento ainda não são de uso obrigatório.

O módulo fotovoltaico é formado por um conjunto de células solares, e o painel solar fotovoltaico é na verdade o arranjo destes módulos como pode ser observado na figura 2.

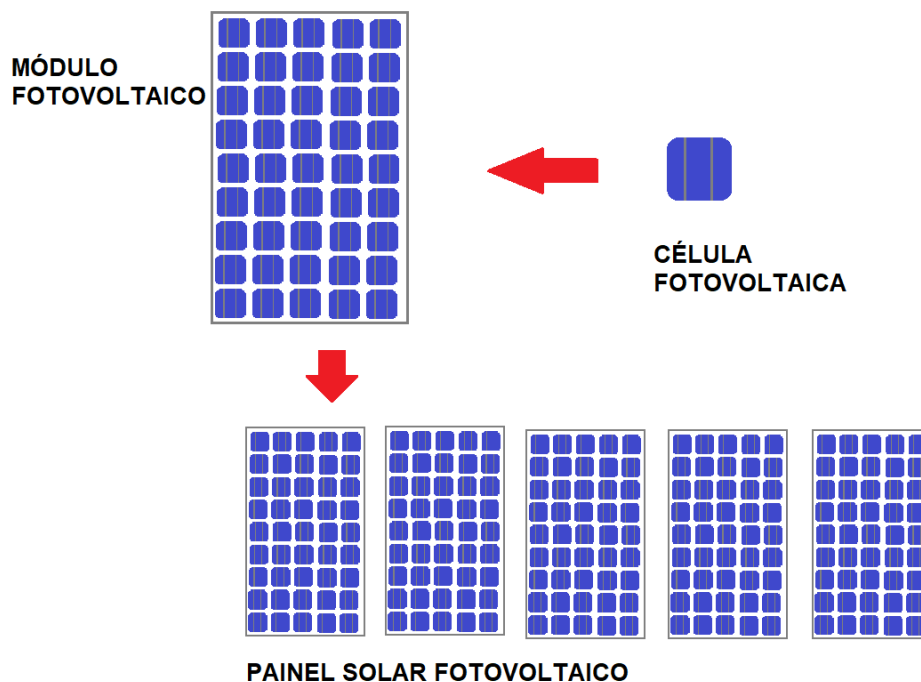


Figura 2: Painel solar fotovoltaico.
Fonte: Autores

É dentro da célula fotovoltaica que ocorre a conversão de energia. Segundo Sampaio e Gonzáles (2017) o fóton da luz solar estimula os elétrons do material a saltarem para a camada de condução, dando origem a tensão e corrente elétrica.

Assim, é importante destacar que para o módulo fotovoltaico desempenhe suas funções corretamente, deve haver farta disponibilidade de luz solar. Em outras palavras, quanto maior o nível de irradiação solar, maior a quantidade de energia que será gerada.

No que se refere aos materiais utilizados pela célula fotovoltaica, o mais empregado é o silício cristalino (Si-C).

A respeito dos inversores, existem modelos diferentes para o sistema on-grid e o sistema off-grid, mas o princípio de utilidade é o mesmo para os dois casos. Esse é o equipamento responsável pela conversão da corrente contínua que é produzida pelos painéis em corrente alternada, pronta para a conexão com a rede elétrica.

Outro elemento do sistema fotovoltaico é o diodo de bloqueio, que é empregado no sistema para evitar que alguma corrente flua em sentido contrário causando surtos na rede elétrica.

O DPS ainda não é um dispositivo altamente difundido nas instalações elétricas brasileiras. Porém, este vem sendo cada vez mais utilizado como redundância na proteção. Tal dispositivo previne problemas advindo de descargas atmosféricas ou mesmo alterações na própria rede.

Por fim, o aterramento é muito importante a fim de escoar correntes indesejadas que possam ocorrer no sistema fotovoltaico. A instalação do aterramento pode representar um acréscimo de custo de implantação para o usuário, porém, evita acidentes e danos ao sistema fotovoltaico.

Material e Métodos

O estudo pode ser caracterizado como uma pesquisa básica de caráter descritivo. Devido à complexidade do assunto e as diferentes vertentes do mesmo, optou-se por limitar a pesquisa a sistemas de geração de energia *on-grid*, ou seja, sistemas conectados à rede pública e também às unidades consumidores residenciais. Para isso foi realizada uma pesquisa exploratória para identificar os principais gargalos que ainda devem ser solucionados para que a energia solar seja mais difundida no Brasil. Para análise dos dados, foi dada preferência a artigos científicos publicados a partir do ano de 2015, porém, o trabalho contém referências de estudos de anos anteriores também a fim de dar suporte ao assunto.

Por fim, os resultados foram organizados em três capítulos que discutem pontos fulcrais dos desafios a serem solucionados pela gestão pública de energia.

Resultados e Discussão

Instalação do sistema fotovoltaico e tarifa de energia

Ao observar-se a matriz energética brasileira, é possível notar que há muito espaço para o crescimento das fontes renováveis de energia. Na figura 1 fica evidente que a participação da energia solar na matriz (0,4%) é muito baixa, o que significa que ainda há muito o que ser explorado nesse setor.

Um dos principais benefícios exaltados pelas empresas que vendem sistemas de energia fotovoltaicos é a diminuição do preço da conta de energia elétrica. Com a difusão do sistema e a facilitação por parte das normas, o usuário residencial tende a considerar essa alternativa.

Assim apresentam-se duas preocupações, a primeira leva em consideração a economia da conta e a segunda ao retorno do investimento realizado.

Os sistemas isolados não costumam ter o mesmo retorno de investimento que um sistema on grid, até porque as baterias e controladores são elementos que encarecem o sistema e exigem troca constante.

Outro fator a ser levado em consideração é a demanda energética da residência que instalará o sistema, quanto maior a necessidade mais painéis deverão ser instalados o que pode encarecer ainda mais o sistema.

Além disso, é preciso analisar o potencial de insolação da área que vai receber o sistema, assim como a cidade ou região, pois esses itens interferem na produção de energia solar e variam muito dependendo da região brasileira.

Guimarães et al (2019) estimaram em seu estudo que o tempo de retorno para o investimento do sistema aplicado por eles foi de três anos, para a região de Tocantins.

Já para Silva et al (2017) que realizaram seu estudo na Paraíba, a média de retorno para os sistemas analisados foi de 7 anos.

Esses resultados demonstram que o tempo de retorno de investimento varia muito de região para região e dos aspectos econômicos do país, mas ainda pode ser considerável ao analisar-se que a vida útil de um sistema solar sem grandes manutenções é de 25 anos como reforçam os mesmos estudos avaliados.

Já no que se refere a economia da conta de energia elétrica, muitos fatores devem ser analisados.

O cálculo da tarifa de energia leva em consideração basicamente a geração, distribuição, transmissão perdas e os tributos. Além disso gastos com a iluminação pública e investimentos nas para melhorias nas operações técnicas são levados em consideração.

Fornecimento de energia fotovoltaica para a rede (Microgeração e Minigeração)

A resolução normativa nº 482 que foi publicada em 17 de abril de 2012 pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) constitui um marco na geração de energia solar fotovoltaica no Brasil. Na verdade esta resolução não regulamenta só o uso do sistema de energia solar, mas serve também para todas as outras fontes renováveis como a hidráulica, eólica e biomassa.

Este dispositivo legal passou por atualizações desde 2012, dando origem as resoluções nº 687 (publicada em 24 de novembro de 2015), e também nº786 (de 17 de outubro de 2017).

Após a resolução nº687 (2015) passou-se a definir como microgeração todo sistema que possui até 75kW e minigeração os sistemas que versam de 75kW até 5MW de potência.

Dentre os principais ganhos está o sistema de compensação de energia elétrica, no qual toda energia gerada por uma unidade consumidora é “emprestada” à distribuidora local e assim caso a demanda da unidade seja menor que o valor injetado o usuário fica com créditos de energia.

Conforme Rios e Rios (2017) normalmente ao meio dia é gerado mais energia que o usuário consegue consumir sendo este excedente injetado na rede e dando origem a créditos em kWh, assim

no período noturno onde não há geração o cliente consome os créditos. Ao final do mês a conta pode ser nula e podem ainda sobrar créditos ao consumidor.

De acordo com o inciso XII do art. 7º da resolução nº 687 o usuário tem até 60 meses para utilizar os créditos que possui, e pode ainda redirecionar os créditos em outra unidade consumidora desde que o responsável possua o mesmo CPF/CNPJ cadastrado.

Apesar dos benefícios que os instrumentos trazem aos usuários muito tem se discutido acerca da forma como são cobrados os créditos de energia.

Raushmayer e Galdino (2014) apontam que no processo de compensação há perdas para o usuário.

Pelo art. 6º da resolução nº687 (2015) entende-se que o consumidor entrega a energia a concessionária em um horário para que seja devolvida em outro, em outras palavras a energia não é vendida, ela é “emprestada” a concessionária, há apenas um abalço.

No art. 7º da referida resolução, o inciso II diz que “o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos a energia injetada e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir todas as componentes da tarifa em R\$/MWh”.

Todavia existe a taxa mínima a ser cobrada de qualquer consumidor, quer ele produza energia ou não, que é o custo de disponibilidade regulamentado pela ANEEL RN 414/2010.

Então se a diferença entre a energia consumida e a injetada for menor que o custo de disponibilidade (CD) o usuário paga o valor referente ao CD, e se a diferença for maior que o CD, o cliente paga o valor da diferença com os impostos.

Assim, o que Raushmayer e Galdino (2014) mostram em seu trabalho é que o fato do custo de disponibilidade ser considerado na fatura, quando houver uma situação em que o consumo for menor que o injetado, mas esta diferença é menor que o CD, o valor pago pelo CD não é retornado em créditos ao usuário.

Em outra situação Raushmayer e Galdino (2014) supõem que também houve um consumo maior que o valor injetado, mas há créditos do mês anterior que podem ser utilizados na cobrança, se apenas uma pequena parcela do crédito já for suficiente para deixar o consumo menor que o CD, todo o excedente de créditos do usuário é perdido. Esta situação hipotética pode ser visualizada na figura 3.

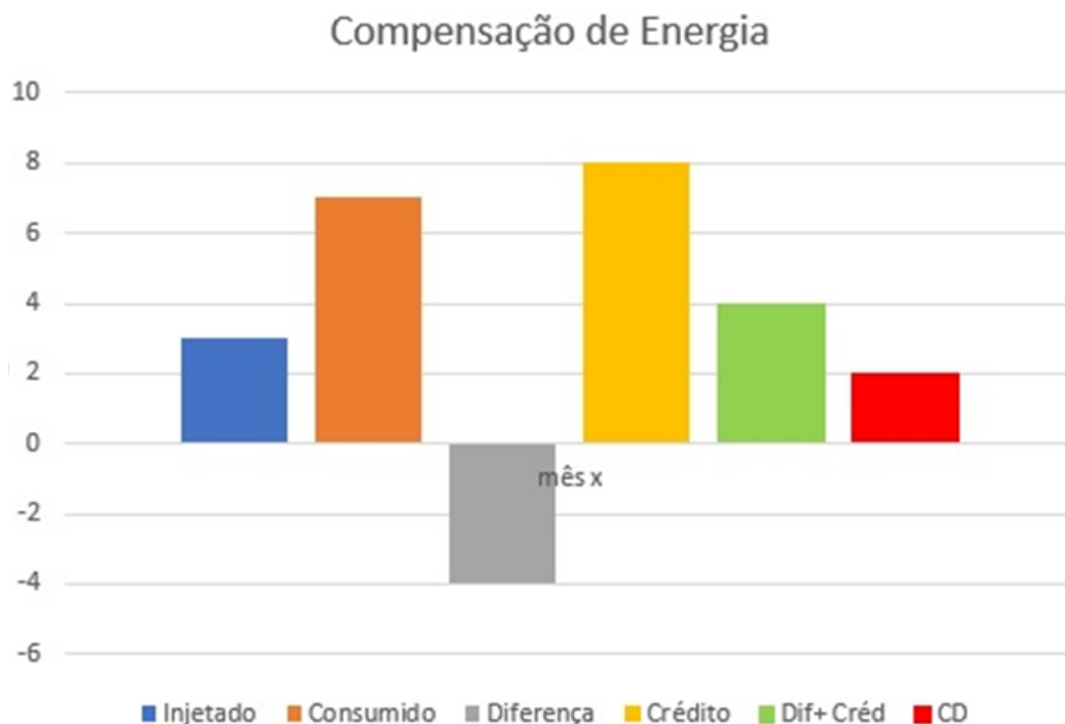


Figura 3: Consumo do mês x.
Fonte: Autores.

Explicando melhor o raciocínio, para que o cliente pague somente o CD, a diferença entre o que é injetado e o que é consumido (coluna cinza) deve ser menor em valor do que o CD (coluna em vermelho). Observando a coluna verde é possível entender que a diferença de consumo mais os créditos (coluna em amarelo) superam o valor do CD, assim o cliente pagará somente o valor do CD e o restante dos créditos será perdido.

Em 2020 o documento da resolução 482 está em fase de atualização e deve ser publicado em 2021. Um dos pontos aos quais espera-se que sejam esclarecidos se refere ao atual método de compensação financeira.

Impactos Ambientais

Os impactos do sistema fotovoltaico de produção de energia ao ambiente também são um desafio a ser enfrentado. Se por um lado a produção de energia é limpa e renovável e não agride o meio ambiente, apenas aproveita o que é fornecido gratuitamente todos os dias, a produção dos equipamentos que compõem o sistema passa por um processo industrial, que por si só já causa impactos.

Outro ponto importante é o descarte desses materiais. É sabido que uma placa solar tem vida útil de aproximadamente 25 anos, então ao considerar-se que cada usuário troque uma vez as placas

o impacto é significativo, além dos casos nos quais os painéis solares são descartados antes do previsto por mau uso ou danos nas instalações.

Além dos danos ambientais ocasionados pelo descarte dos materiais que compõem o sistema fotovoltaico, a bateria tem papel preocupante já que os eletrólitos componentes destas possuem elementos como o chumbo e o cádmio. E as baterias tem vida útil menor que as placas.

Pela ABNT NBR 10004:2004 os módulos fotovoltaicos podem ser classificados como resíduos sólidos perigosos de Classe I. Assim estes devem ser descartados junto a resíduos industriais perigosos. Nesse sentido um sistema de logística reversa seria importante no processo de gestão destes resíduos.

Para Miranda et al. (2019) o sistema de logística reversa ainda não é controlado pela fiscalização vigente no país como ocorre por exemplo com os pneus e as embalagens de agrotóxicos. É importante salientar que pelo que preconiza a Lei nº 12.305/2010, a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos deve ser compartilhada por fabricantes, distribuidores, comerciantes e consumidores.

Coelho e Serra (2018) destacam como as principais substâncias propagadas pelos módulos fotovoltaicos a lixiviação de cádmio e chumbo. O chumbo é um metal muito tóxico e além disso se acumula na cadeia trófica.

Apesar do volume de energia solar produzido representado na matriz energética brasileira (0,4% em 2019), esse fator pode representar risco caso o setor expanda significativamente. Além disso, mesmo que haja um local adequado de descarte, por si só ocuparia volume nos aterros.

Há ainda a possibilidade de reciclar os painéis. Coelho e Serra (2018) mostram que os métodos químicos são os mais utilizados no processo de reciclagem, com auxílio de ácidos, álcoois, solventes orgânicos e a pirolise.

Prado (2008) utilizou uma metodologia que emprega solventes mais brandos que o ácido clorídrico e o nítrico, como o ácido sulfúrico, que evitou as emissões gasosas. Em seu método ainda utilizou equipamentos industriais com menos restrição a corrosão que pode ocorrer no processo.

Mesmo que já existam possibilidades de reciclagem efetivas, é importante salientar que por serem processos industriais também incluem algum tipo de impacto.

Considerações Finais

A energia solar é uma alternativa eficiente de geração de energia. É limpa, renovável e usa como fonte o Sol que é abundante no globo.

O Brasil em sua matriz energética ainda utiliza mais da metade de suas fontes não renováveis. Por ser um país tropical, tem espaço e potencial para o crescimento da energia solar no país.

Dentre os desafios que devem ser enfrentados cita-se o cálculo mais eficiente da compensação de energia dos usuários com as concessionárias. O atual sistema faz com que não seja interessante ao cliente investir em produzir mais para a rede e sim apenas para si próprio.

Outro fator a ser ponderado é que os custos de implantação ainda são altos, e dependendo da região, o retorno do investimento pode ser demorado, fazendo com que a população de baixa renda não tenha acesso a esse tipo de sistema.

Para que o modelo de obtenção de energia fotovoltaica seja ainda mais seguro e eficiente, é necessário que novas maneiras de reciclagem sejam estudadas, assim como uma possível logística reversa, e ainda instrumentos legais mais elaborados que direcionem o setor.

Agradecimentos

À CAPES e a Universidade Estadual do Maringá pelo apoio ao estudo.

Referências Bibliográficas

ANEEL-Agencia Nacional de Energia Elétrica, 2012:Resolução Normativa N°482/2012;17/04/2012

ANEEL -Agencia Nacional de Energia Elétrica, 2015:Resolução Normativa N°687/2015;24/11/2015

ANEEL -Agencia Nacional de Energia Elétrica, 2012:Resolução Normativa N°786/2017;17/10/2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Política nacional de Resíduos Sólidos. **Lei 12.305/2010**, de 2 de agosto de 2010.-2 ed. - Brasília: Câmara dos deputados, Edições Câmara, 2012, 73p.

COELHO, Thays Fernandes; SERRA, Juan Carlos Valdés. Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: impactos ambientais. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 15, n. 7, p. 1-17, jun. 2018. Disponível em: file:///C:/Users/ANACLA~1/AppData/Local/Temp/820-2453-1-PB.pdf. Acesso em: 15 jul. 2020.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, Edição especial, PRC-PRODEEM, Rio de Janeiro, março de 2014.

GUIMARÃES, Kaline Carneiro et al. Uso da energia solar fotovoltaica como alternativa de economia e sustentabilidade: estudo de caso em residência em Palmas-TO. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICODAENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 1., 2019, Palmas. Anais. Palmas: Contec, 2019. p. 1-5.

Ministério de Minas e Energia. EPE –Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha Energética Brasileira 2020**: ano base 2019.Rio de Janeiro: EPE, 2020.

MIRANDA, Rosana Teixeira et al. Gestão do fim de vida de módulos fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s. l], v. 8, n. 1, p. 364-383, dez. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Tatiane-Silva-17/publication/332049550_GESTAO_DO_FIM_DE_VIDA_DE_MODULOS_FOTOVOLTAICOS/links/5daa02f092851c577eb840d5/GESTAO-DO-FIM-DE-VIDA-DE-MODULOS-FOTOVOLTAICOS.pdf. Acesso em: 20 jul. 2020.

PRADO, Pedro Forastieri de Almeida. **Reciclagem de painéis fotovoltaicos e recuperação de metais**. 2018. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Químicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-30012019-141410/publico/PedroForastierideAlmeidaPradoCorr18.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

OLIVEIRA, Adriana de Souza. **Avaliação de impactos ambientais do módulo fotovoltaico: produção e uso como fonte de energia elétrica**. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/31252/1/2017_AdrianadeSouzaOliveira.pdf. Acesso em: 16 jul. 2020.

RAUSHMAYER,Hans; GALDINO, Marco Antônio. Os impactos da regulamentação ANEEL/482 e da legislação tributária no retorno financeiro de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 5., 2017, João Pessoa. **Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar** . Recife, 2014. p. 1-10. Disponível em:https://www.researchgate.net/profile/Marco_Galdino/publication/268073964_Os_impactos_da_regulamentacao_Aneel482_e_da_legislacao_tributaria_no_retorno_financeiro_de_sistemas_fotovoltaicos_conectados_a_rede/links/55b8301708ae9289a08d498e/Os-impactos-da-regulamentacao-Aneel-482-e-da-legislacao-tributaria-no-retorno-financeiro-de-sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede.pdf. Acesso em: 20 jul. 2020.

SAMPAIO, Priscila G. V.; GONZÁLEZ, Mario O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [SI], v 74, p. 590-601, jul, 2017

SILVA,Valdécio Santiago. Avaliação da viabilidade econômica na instalação de painéis solares em residências na cidade de João pessoa como forma de amortecimento nas tarifas de energia elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 5., 2017, João Pessoa. **Anais do congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. João pessoa: Congestas, 2017. p. 1-8. Disponível em:<http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2017/trabalhos/pdf/congestas2017-et-06-015.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

6^o SSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

- PARTE II -

Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana

TELHADO VERDE: DESDE TEMPOS ANTIGOS CONTRIBUINDO COM A SUSTENTABILIDADE

| ID 18807 |

1Lorena Dalva Lima, 2Pedro Luiz Teixeira de Camargo

1discente De Engenharia Civil Do Instituto Federal De Minas Gerais Campus Avançado PIUMHI, e-mail: lorenaa.dalva@gmail.com; 2Docente Do Instituto Federal De Minas Gerais Campus Avançado PIUMHI, e-mail: pedro.camargo@ifmg.edu.br

Palavras-chave: construção civil; sustentabilidade; telhado verde.

Resumo

O setor da construção civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento das cidades, além disso é responsável pela geração de resíduos e pelo uso desacelerado dos recursos naturais. Nos últimos anos, a humanidade alcançou um patamar de desenvolvimento que exigiu a ampliação de diversos espaços, por exemplo de escolas, hospitais, residências, entre outros. Com o aumento da população, o número de veículos e de resíduos gerados aumentaram consideravelmente, causando desequilíbrio na natureza. Na tentativa de compatibilizar meio ambiente e desenvolvimento, diversas técnicas sustentáveis foram criadas, entre elas pode-se citar os telhados verdes, também chamados de jardins suspensos, objeto deste trabalho que tem como proposta construir um vasto referencial teórico acerca da temática. Como resultados, pode-se dizer que estes podem ser divididos em três tipos: os intensivos, os extensivos e os semi-intensivos. Basicamente, o que diferencia os três modelos são as espessuras das camadas e os tipos de vegetação utilizados. Independente dos modelos, os telhados verdes possuem inúmeras vantagens, entre elas pode-se citar a melhora do ar, visto que a vegetação absorve as impurezas presentes no ar e libera oxigênio na atmosfera. Além disso, as plantas possuem capacidade de reter água, diminuindo assim o volume de água que será escoado, evitando enchentes nas cidades. Incentivos por parte dos órgãos públicos aumentariam o interesse das pessoas quanto ao uso dos telhados verdes, se tornando assim uma das principais soluções para a ampliação de sua utilização.

Introdução

Loureiro; Gregori (2013) afirmam que a humanidade alcançou um patamar de desenvolvimento tecnológico e social que causa danos gravíssimos à natureza. A poluição cresceu

juntamente com a ampliação das cidades, afetando diretamente fatores vitais para o ser humano. Desse modo, iniciou-se a busca de novos métodos para conciliar desenvolvimento social e tecnológico com a conservação dos recursos naturais.

Segundo Correia; Dias (2016, p. 64):

Compatibilizar meio ambiente, crescimento e desenvolvimento econômico significa considerar os problemas ambientais no âmbito contínuo de planejamento, atendendo-se adequadamente às exigências de ambos, observando-se as inter-relações particulares a cada contexto político, sociocultural, econômico e ecológico numa dimensão tempo/espaço. Assim sendo, a política ambiental não deve se erigir em obstáculo ao desenvolvimento, mas sim em um de seus instrumentos, ao propiciar a gestão racional dos recursos naturais, que constituem a base material da sustentabilidade.

O setor da construção civil tem papel fundamental no processo de urbanização, pois com o crescimento da população faz-se necessário ampliar espaços como indústrias, hospitais, escolas, aeroportos, etc. Apesar desse setor ser essencial para o desenvolvimento das cidades e para a organização espacial, ele gera algum tipo de poluição (QUEIROZ, 2016, p. 256).

No Brasil, o modelo de construção praticado gera diversos prejuízos ambientais em toda a sua cadeia de produção, pois, além de utilizar em grande escala matéria-prima não renovável da natureza e consumir elevadas quantidades de energia, tanto na extração quanto no transporte e processamento dos insumos, é também responsável pelo uso excessivo dos materiais e considerado grande fonte geradora de resíduos dentro do meio urbano (ROTH; GARCIAS, 2009, p.114).

Laruccia (2014) afirma que em relação à matéria-prima utilizada, o cimento é um dos principais materiais usados na construção, possui elevado consumo mundial, e conseqüentemente, elevada fabricação. Segundo Queiroz (2018), a produção de clínquer, que é o principal componente do cimento, emite grande quantidade de CO₂ decorrente da calcinação do calcário, além de um alto gasto energético.

Referente à geração de resíduos no Brasil, Cardoso (2017) afirma que os oriundos da construção civil são responsáveis por pelo menos 50% do volume de resíduos sólidos gerados no país. Esse grande volume é explicado pelo fato de todas as atividades que são desenvolvidas neste setor serem geradoras de entulho. Segundo Scrivener; John; Gartner (2017), a indústria de materiais de construção recicla grande quantidade de rejeitos de outras indústrias, porém John (2017) destaca que a taxa de reciclagem é baixa mesmo em países desenvolvidos, e pode ser considerada desprezível no Brasil.

“Uma das formas de se contribuir com o desenvolvimento sustentável do setor da construção civil é com as escolhas e usos conscientes dos materiais de construção” (OLIVEIRA, 2015, p. 2). Além

desta escolha, Silva (2011) explica que uma outra opção para minimizar impactos ambientais, principalmente os relacionados às questões de impermeabilização, é o uso de telhados verdes.

O crescimento econômico e o meio ambiente são aliados e devem ser compatibilizados para o bem-estar do ser humano. Nos últimos anos, diversas técnicas sustentáveis foram desenvolvidas para um melhor aproveitamento da natureza em prol da economia e do desenvolvimento.

Pôde-se notar os males que o setor construtivo causa, devido aos diversos impactos ambientais gerados. Porém é possível que estes impactos reduzam significativamente com o uso de materiais e métodos sustentáveis nas edificações. Por isso se realizou o presente trabalho sobre telhados, visto que eles são um dos componentes principais de uma obra, além de apresentar uma proposta inovadora para o seu uso, a utilização dos telhados verdes.

Objetivo

O objetivo da pesquisa é apresentar o telhado verde como uma ferramenta ideal para a compatibilização do meio ambiente e do desenvolvimento econômico, principalmente no setor da construção civil, abordando o histórico, a estrutura, os tipos, as vantagens e as desvantagens, a partir de uma revisão bibliográfica.

Materiais e Métodos

Para a realização da presente pesquisa, foi feita uma revisão bibliográfica sobre o tema telhado verde. A revisão bibliográfica possui caráter exploratório, visto que têm como objetivo proporcionar maior afinidade com o assunto, além de aprimorar ideias e apresentar informações que antes eram desconhecidas pelo pesquisador (GIL, 2007, p. 41).

Segundo Gil (2007), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em materiais como livros, artigos e teses que abordam o assunto. É a partir da revisão bibliográfica que pode-se ter ideia do que já foi e do que ainda necessita ser pesquisado, sendo base para qualquer pesquisa (ECHER, 2011, p.7).

Resultados e discussão

Definição

Telhado

O telhado pode ser definido como sendo qualquer tipo de cobertura em uma edificação, e de acordo com Costa; Souza; Siqueira (2019) ele é rigorosamente, apenas uma categoria de cobertura, em geral caracterizado por possuir um ou mais planos inclinados em relação à linha horizontal.

Carmo (2019) afirma que a função principal de um telhado é proteger o ambiente interno da construção contra intempéries do ambiente externo, além de oferecer aos usuários privacidade, proteção acústica e térmica, ele também promove a captação e a distribuição das águas pluviais.

Segundo Gaspar (2021), existem diversos tipos de coberturas, entre elas estão os telhados verdes.

Telhado verde

De acordo com Corsini (2011), o telhado verde também conhecido como cobertura vegetal ou jardim suspenso, é um telhado que possui sua estrutura composta por uma cobertura vegetal formada por grama ou plantas. A instalação é feita sobre lajes ou até mesmo sobre as coberturas convencionais e consiste em camadas de impermeabilização e de drenagem que recebem o solo e a vegetação proposta no projeto, segundo o mesmo autor. A instauração deste sistema construtivo é feita geralmente sobre lajes de concreto, podendo ser realizada em superfícies planas ou inclinadas (SAVI, 2012, p. 25).

A Figura 1 mostra a utilização do telhado verde em superfície inclinada:



**Figura 1: Telhado verde com inclinação de 45º - Siegen Oberscheiden (Alemanha)
Fonte: Minke (2004, p. 19).**

A Figura 2 mostra a utilização do telhado verde em superfície plana:



Figura 2: Telhado verde em superfície plana.

Fonte: <https://www.tuacasa.com.br/telhado-verde/>. Acesso em: 13/04/2021

Histórico

“Os registros históricos mostram que o telhado verde é uma técnica construtiva antiga primeiramente usado pelos zigurates da antiga Mesopotâmia, atual Sul do Iraque e na Babilônia, por causa do desempenho térmico proporcionado” (SILVA, 2011, p. 14). De acordo com Silva e Duarte (2017), um zigurate é uma espécie de templo em formato de pirâmide, porém com a presença de degraus, com cada pavimento construído um sobre o outro.

A Figura 3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra como deveria ser a estrutura d e um zigurate:



Figura 3: Exemplo de zigurate.

Fonte: <https://apaixonadosporhistoria.com.br/artigo/62/zigurates-o-que-eram-e-qual-era-a-sua-finalidade>.

Acesso em: 13/04/2021

Quintella (2011) destaca que a construção mais famosa que comportava os jardins suspensos se chamava Etemenanki, localizado na Babilônia e possuía 91 metros de altura e uma base de 91 x 91 metros.

A Figura 4 mostra o que seriam os jardins suspensos da Babilônia:

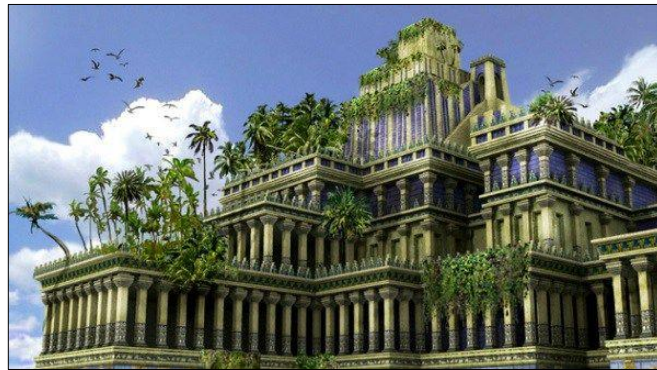


Figura 4: Jardins suspensos da Babilônia.

Fonte: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_telhado_verde.pdf

Acesso em: 13/04/2021

De acordo com Peck; Callaghan (1999), os jardins suspensos foram usados durante o Império Romano nos telhados dos edifícios, além disso, os Vikings também utilizavam esta técnica nas coberturas de suas casas para se protegerem das chuvas e dos ventos. Na Índia, segundo Araújo (2007), nos séculos XVI e XVII, e em algumas cidades da Espanha já existiam coberturas com vegetação.

Até a metade do século XX, algumas cidades francesas também adotavam esta técnica, que inclusive era considerada prática de cultura popular (ARAÚJO, 2007, p. 3).

Segundo Peck; Callaghan (1999), no início dos anos 1960, muitas técnicas de construção de telhados verdes foram desenvolvidas, principalmente na Alemanha e na Suíça, já na década de 1970 a pesquisa sobre o tema se intensificou, resultando na introdução de vários tipos de materiais drenantes, membranas impermeabilizantes, agentes inibidores de raízes, substratos de densidade baixa e espécies adequadas de plantas. Na década de 1980, na Alemanha, houve um crescimento das construções com telhado verde, de 15% a 20% ao ano, totalizando dez milhões de metros quadrados de telhados verdes, o que é justificado devido as leis municipais, estaduais e federais que subsidiavam cada metro quadrado de cobertura verde a ser construída (PECK; CALLAGHAN, 1999, p. 12).

“No Brasil, essa técnica construtiva não é muito utilizada, porém existem muitas empresas especializadas nesse tipo de construção e impulsionadoras do uso desse sistema construtivo”

(RIBEIRO; RIBEIRO, 2017, p.5). Além disso, de acordo com Dutra; Silva (2018), só recentemente começaram a surgir leis de incentivo por parte do governo brasileiro para disseminar este sistema.

Segundo Ferraz (2012), os estados que possuem mais afinidade com os telhados verdes são Santa Catarina e Rio Grande do Sul, visto que as capitais destes estados já possuem leis de incentivo à construção de coberturas vegetadas.

De acordo com Beilfuss e Linck (2013), o telhado verde foi utilizado no Brasil na década de 1930, por Lucio Costa e a equipe responsável pelo projeto da sede do então Ministério da Educação e da Saúde (atual Palácio Gustavo Capanema, localizado no centro da cidade do Rio de Janeiro).

A Figura 5 mostra o telhado verde do Palácio Gustavo Capanema:



Figura 5: Palácio Gustavo Capanema

Fonte: <https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais2013/XVIII%20SEMIN%C3%81RIO%20INTERINSTITUCIONAL%202013%20%20ANAIS/CCSA/ARQUITETURA%20E%20URBANISMO/C.%20Oral/TELHADO%20VERDE.pdf>. Acesso em 14/04/2021.

Estrutura e implantação

A Figura 6 mostra a estrutura do telhado verde que depende da região a qual será instalada (SANTOS et al., 2017, p. 197):



Figura 6: Exemplo de estrutura do telhado verde.

Fonte: <https://neoipsum.com.br/tehado-verde/> Acesso em 16/04/2021.

Segundo Alberto (2013), inicialmente para a implantação de um telhado verde a laje que irá recebê-lo deve ser impermeabilizada, além de ser necessária a instalação de sistemas de drenagem. Em casos que a estrutura já foi executada sem o devido planejamento para receber o telhado verde, deve ser realizado um estudo para analisar se a carga poderá ou não ser colocada e quando houver necessidade de fazer algum tipo de reforço estrutural, esse deve ser feito. As espécies de vegetação utilizadas no telhado irão depender de cada situação e devem ser indicadas por um especialista.

De acordo com Felipe; Lucas (2020), o telhado verde é composto por sete camadas:

- Sendo a primeira a própria laje, que em alguns casos deve ser reforçada para receber as outras camadas;
- A segunda é a camada impermeabilizante, e deve ser muito bem executada, se possível até por uma empresa especializada, para evitar problemas futuros de infiltrações. Geralmente utiliza-se a manta asfáltica;
- A terceira é uma manta ou uma barreira contra as raízes, e é utilizada para que estas não danifiquem a membrana impermeável, neste caso a manta asfáltica, um outro cuidado relacionado à infiltração;
- A quarta é composta pelo sistema de drenagem, que permite o escoamento fácil da água. Geralmente utiliza-se argila expandida ou britas de granulometria alta;
- A quinta é composta por um tecido permeável e tem como principal função separar a terra e a camada de drenagem, visto que a terra pode preencher os espaços vazios desta camada, o que dificultaria a passagem da água;
- A sexta é o solo, que irá depender do tipo de vegetação adotada (pode ter várias espessuras, e dependem do tipo de telhado verde escolhido, estes serão abordados no próximo tópico);
- E por fim, a sétima e última camada é a própria vegetação.

Tipos de telhados verdes

Os telhados verdes podem ser classificados em dois tipos principais: os extensivos e os intensivos. O primeiro tipo é caracterizado por um substrato com baixa profundidade, plantas de pequeno porte e, devido ao seu lento e baixo crescimento, exige pouca manutenção. O segundo tipo possui espessura de substrato maior, além de abrigar uma diversidade de espécies vegetais, entre elas plantas de pequeno ou médio porte. Este último possui maior capacidade de retenção de água e nutrientes, porém exige manutenções em menores intervalos de tempo e uma estrutura mais reforçada, pois implica em uma sobrecarga maior (JOBIM, 2013, p. 16).

Em relação ao custo de cada tipo de telhado, Heneine (2008) aborda que nas coberturas verdes extensivas, pelo fato de exigirem baixa manutenção, irrigações e pouca carga, possuem custo baixo. Já as coberturas intensivas, com maior grau de manutenção, irrigações e maiores cargas, possuem custo mais alto quando comparado com o custo das coberturas extensivas, segundo o mesmo autor.

Existe ainda um outro tipo de telhado verde, o telhado verde semi-intensivo. Este tipo possui a camada de substrato mais profunda quando comparada ao extensivo (SCRENSKI, 2015, p. 16), além disso, Jobim (2013) afirma que este modelo pode abrigar uma diversidade de plantas, como alguns tipos de arbustos e ervas, e como desvantagem também demanda manutenções periódicas, consequentemente os custos deste modelo aumentam, o que o aproxima dos intensivos.

A Tabela 1 resume as principais propriedades de cada tipo de telhado verde:

Tabela 1: Características dos telhados verdes.

Itens	Telhado verde extensivo	Telhado verde semi-intensivo	Telhado verde intensivo
Manutenção	Baixo	Periodicamente	Alto
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Plantas	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramado, arbustos e árvores
Altura do sistema	60 - 200 mm	120 - 250 mm	150 - 400 mm
Peso	60 - 150 kg/m ²	120 - 200 kg/m ²	180 - 500 kg/m ²
Custos	Baixo	Médio	Alto
Usos	Camada de proteção ecológica	Projetado para ser um telhado verde	Parque igual a um jardim

Fonte: Adaptada de

<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/51254/R%20-%20E%20-%20ADRIAN%20JAN%20SCRENSKI.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 19/04/2021.

Segundo Screnski (2015), a vegetação cultivada no telhado verde extensivo é de pequeno porte e possui baixa manutenção, o que favorece e viabiliza a instalação desta técnica em diversas coberturas já existentes. Mesmo que estas estejam em estruturas planas ou inclinadas, a sobrecarga exercida na estrutura do telhado será menor comparada a outros modelos, mesmo em dias chuvosos.

Na Figura 7 é possível ver um exemplo de cobertura verde extensiva:



Figura 7: Exemplo de telhado verde extensivo.

Fonte: https://www.ecologicconstrucoes.com.br/?page_id=145 Acesso em 19/04/2021.

A Figura 8 mostra um exemplo de telhado verde intensivo:



Figura 8: Telhado verde construído no edifício Matarazzo, atual sede da Prefeitura de São Paulo e antigo prédio do Banespa. Fonte: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2015/10/haddad-veta-obrigatoriedade-de-novos-predios-terem-telhado-verde.html> Acesso em 19/04/2021.

A Figura 9 descreve o modelo de cobertura semi-intensiva:



Figura 9: Cobertura Verde Semi-extensiva – Chicago City Hall.

Fonte: <http://repositorio.poli.ufri.br/monografias/monopoli10019366.pdf> Acesso em 17/05/2021.

Na Figura 10 é possível ver a estrutura das camadas dos telhados extensivos, semi-extensivos e intensivos:

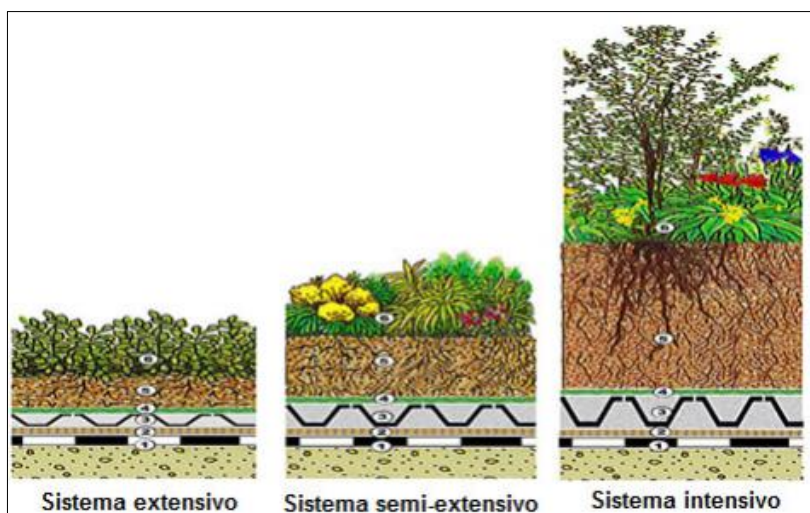


Figura 10: Ilustração esquemática dos diferentes tipos de telhados verdes.

Fonte: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7842/JOBIM,%20ALAN%20LAMBE%20RTI.pdf?sequence=1>. Acesso em 19/04/2021.

Em resumo, Pessanha (2017) divide a estrutura dos telhados verdes em seis camadas:

- 1 - Pavimento de cobertura com isolamento e impermeabilização;
- 2 - Camada de proteção e armazenamento;
- 3 - Camada de drenagem e capilaridade;
- 4 - Camada de filtro permeável a raiz;

5 - Substrato/solo para cobertura vegetal extensiva;

6 - Planta/vegetação.

Vantagens

Os telhados verdes possuem inúmeras vantagens, destacando-se:

- A melhoria da qualidade do ar, visto que a utilização desse tipo de estrutura contribui com a diminuição da poluição, pois a vegetação absorve as substâncias tóxicas e libera oxigênio na atmosfera, o que conseqüentemente aumenta a qualidade do ar das cidades, bloqueando a circulação de impurezas (MINKE, 2004, p. 9);

- A redução das ilhas de calor, que ocorrem devido:

À junção de diversos fatores como a poluição atmosférica, alta densidade demográfica, pavimentação e diminuição da área verde, construção de prédios dificultando a passagem do vento, grande quantidade de veículos e outros fatores que contribuem para o aumento da retenção de calor na superfície (BEZERRA; SANTOS; AGUIAR, 2013, p.1501).

De acordo com Catuzzo (2013), coberturas verdes por reduzirem a temperatura, auxiliam na redução desse fenômeno, protegendo-as contra as altas temperatura durante o verão, além de ajudar a manter a temperatura interna do ambiente no inverno;

- Castro (2011) afirma que os telhados verdes amenizam o escoamento superficial da chuva, visto que as plantas têm a capacidade de reter água, o que reduz o volume que será escoado. Além disso, este tipo de cobertura melhora a qualidade da água, pois as plantas funcionam como filtro;
- De acordo com Ecotelhado (2010), o uso desta técnica auxilia no aumento da biodiversidade, visto que com o desenvolvimento das cidades e das áreas rurais, diversas espécies de vegetais e animais foram expulsas de seu habitat natural;
- Segundo Dunnet; Kinsbury (2008), este tipo de telhado têm a capacidade de absorção sonora, tanto pela vegetação quanto do substrato que compõem sua estrutura. De acordo com Oliveira (2019), o que acontece é que o substrato tende a absorver som nas frequências mais baixas, enquanto a folhagem das plantas absorve o som nas frequências mais altas;
- Conforme Ferreira (2007), algumas referências citam que o telhado verde aumenta a durabilidade da estrutura, mas o que realmente acontece é que este tipo de cobertura possui durabilidade indefinida, que depende da própria natureza. Ela protege a base

impermeável, seja de concreto, telha ondulada, lonas ou filmes plásticos, dos efeitos térmicos da insolação e das radiações ultravioletas, fazendo com que estes tenham uma durabilidade muito superior aos telhados similares convencionais que não utilizam cobertura vegetal;

- Anversa (2020) afirma que mesmo quando duas construções são idênticas e ambas usam um telhado verde, há uma grande probabilidade de que cada uma tenha um visual diferente da outra, pois não existe vegetação que seja 100% igual a outra;

Desvantagens

Entre as desvantagens dos telhados verdes, pode-se citar:

- Custo da mão de obra (JACOMINI, 2020). Por se tratar de um processo relativamente novo no Brasil, existem poucas empresas no ramo, conseqüentemente, o custo pode ser considerado alto;
- Em casos de estruturas que já foram executadas sem o planejamento para receber o telhado, é necessário que seja realizado um estudo para analisar as cargas que podem ser implantadas, ou até mesmo fazer um reforço estrutural (ALBERTO et al., 2012, p.171).

Algumas considerações

A construção civil deve adotar técnicas construtivas sustentáveis, a fim de diminuir os impactos ambientais causados. O telhado verde, como destacado ao longo da revisão bibliográfica, auxilia na redução dos impactos das novas construções e das construções existentes, podendo ser uma ótima ferramenta a ser aplicada nos centros urbanos já consolidados (SAVI, 2012, p. 110).

É importante ressaltar que os órgãos públicos possuem papel fundamental para a disseminação do conhecimento. Segundo Henn; Cagliari (2016), deveria haver um maior incentivo desta técnica em todas as regiões do Brasil, estimulando e incentivando a utilização deste tipo de cobertura, principalmente em determinadas regiões do Brasil, onde há intensa insolação.

Conclusões

Através desta pesquisa pode-se concluir que o telhado verde é uma opção viável para compatibilizar meio ambiente e construção civil. Mesmo sendo um tipo de cobertura muito antigo, há ainda obstáculos culturais e financeiros que devem ser vencidos, para isso, é necessário que, principalmente os órgãos públicos incentivem o uso desta técnica, como forma de conscientizar e informar toda a população.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer o Instituto Federal de Minas Gerais *campus* Avançado Piumhi por todo o apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Alberto, E.; 2012. Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis. XII Safety, Health and Environment World Congress, p. 171-173.

Beilfuss, B.; Linck, I.; 2013. Telhado verde: cobertura de edificações ecologicamente corretas. XVIII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, p. 1-5.

Bezerra, M.; Santos, J.; Aguiar, A.; 2013. Ilhas de calor: Importância da Vegetação na Amenização Climática em João Pessoa/PB. Revista Brasileira de Geografia Física, v.6, n.5, p. 1499-1516.

Cardoso, L.; 2017. Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil. Sienge Plataforma.

Carmo, J.; 2019. Cobertura e telhado. Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia do Rio Grande do Norte, p. 1-44.

Castro, A.; 2011. Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 1-161.

Catuzzo, H.; 2013. Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar (O caso da cidade de São Paulo). Universidade de São Paulo, p. 1-207.

Correira, M., Dias, E.; 2016. Desenvolvimento sustentável, crescimento econômico e o princípio da solidariedade intergeracional na perspectiva da justiça ambiental. Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas, n.8, p. 63-80.

Costa, D.; Souza, L.; Siqueira, P.; 2019. Introdução ao estudo dos telhados. Departamento de Expressão Gráfica, p. 100-117.

Dunnet, N.; Kingsbury, N.; 2004. Planting Green Roofs and Living Walls, p. 1-254.

Dutra, B.; Silva, J.; 2018. Perspectivas sobre o telhado verde no Brasil. Estudos de Organização do Espaço Exterior, p. 5-9.

Echer, I.; 2001. A revisão de literatura na construção do trabalho científico. Revista Gaúcha de Enfermagem, v.22, n.2, p. 5-20.

Ecotelhado, 2010. Telhado verde ecológico / teto verde.

Ferraz, I.; 2012. O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p.1-133.

Ferreira, M.; 2007. Teto verde: o uso de coberturas vegetais em edificações. Departamento de Artes & Design, p. 1-11.

Gaspar, M.; 2021. Tipos de telhado: especificações, vantagens e aplicações. Sienge Plataforma.

- Gil, A. Como elaborar projetos de pesquisa. Atlas: São Paulo, 2007.
- Heneine, M.; 2008. Cobertura verde. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, p. 1-49.
- Henn, A.; Cagliari, A.; 2016. A implantação do telhado verde e sua efetividade. Seminário Internacional de Construções Sustentáveis, p. 1-6.
- Jacomini, L.; 2020. Telhado verde: o que é, vantagens e desvantagens.
- Jesus, L.; 2018. Telhado verde “Revisão bibliográfica”. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, p. 1-44.
- Jobim, A.; 2013. Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial. Universidade Federal de Santa Maria, p. 1-76.
- John, V.; 2017. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, cap. 4.
- Laruccia, M.; 2014. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. Revista ENIAC Pesquisa, v.3, n.1, p. 68-84.
- Loureiro, M.; Gregori, I.; 2013. Como construir cidades sustentáveis? Revista Eletrônica do Curso de Direito da Ufsm, v. 8, p. 458.
- Minke, G.; 2004. Techos verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos, p. 1-86.
- Oliveira, S.; 2019. Telhado verde: uma possibilidade sustentável. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 1-65.
- Oliveira, T.; 2015. Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações. Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 1-114.
- Peck, S.; Callaghan, C.; 1999. Greenbacks from Green roofs: forging a new industry in canada. Canadá, p. 1-88.
- Pessanha, L.; 2017. Proposta de implantação de um sistema de telhado verde extensivo utilizando a técnica de wetland, na Escola Politécnica – UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 1-59.
- Queiroz, N.; 2016. Construções sustentáveis na Engenharia Civil e a responsabilidade socioambiental. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v.3, n.6, p. 255-263.
- Queiroz, V.; 2018. Avaliação do ciclo de vida de emissão de CO₂ na indústria do cimento: um estudo comparativo entre o cimento LC³ e o cimento portland composto. Universidade de Brasília, p. 1-84.
- Quintella, M.; 2012. A origem dos telhados verdes.
- Ribeiro, C.; Ribeiro, R.; 2017. Teto verde: contribuição para o conforto térmico em edificações residenciais na cidade de Teresina-PI. Instituto Camillo Filho, p. 1-15.
- Roth, C.; Garcias, C.; 2009. Construção civil e degradação ambiental. Desenvolvimento em Questão, v.7, n.13, p. 111-128.
- Santos, L.; Lima, J.; Neto, L.; Rolemberg, R.; Gonzaga, G.; 2017. Telhado verde: uma proposta sustentável para a construção civil. Cadernos de graduação, v.4, n.2, p.195-206.
- Savi, A.; 2012. Tehados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 1-128.

Screnski, A.; 2015. Viabilidade do telhado verde como instrumento de redução de emissões de carbono. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Scrivener, K.; John, V.; Gartner, E.; 2016. **Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry.** Paris, p. 1-52.

Silva, M.; Duarte, S.; 2017. Concepção e projeto de métodos construtivos sustentáveis: aplicação de telhado verde e aproveitamento de água pluvial em um ambiente escolar. Universidade do Sul de Santa Catarina, p. 1-97.

Silva, N.; 2011. Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, p. 1-63.

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A REDUÇÃO DO DESEQUÍLIBRIO HÍDRICO NAS CIDADES

| ID 18834 |

1 Suellen Cristina Coelho Barbosa, 2 Paloma Caroline Rezende de Souza, 3 Roberta Laís Silva Schmidt, 4 Anna Carolina Fernandes Oliveira, 5 Érica de Sousa Pinto

1Centro Universitário UNA, e-mail: suellencoelho97@gmail.com; 2Centro Universitário UNA, e-mail: paloma-crs@hotmail.com; 3Centro Universitário UNA, e-mail: robertalaisilva@gmail.com; 4Centro Universitário UNA, e-mail: annacarolinafoliveira@gmail.com; 5Centro Universitário UNA, e-mail: erica.sousa.pinto@gmail.com

Palavras-chave: Pavimento Permeável; Sustentável; Impermeabilização.

Resumo

A água é um componente fundamental da natureza, sustenta todos os ciclos e a vida. Os fatores que regem o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos, que transportam vapor d'água, a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamento das massas de água.

Após o êxodo rural, a atividade humana contribuiu para a alteração do ciclo da água, principalmente nas cidades, visto que, a Revolução Industrial impulsionou a economia, gerando um aumento da densidade populacional em eixos urbanos de forma complexa e diversificada, e conseqüentemente o aumento da utilização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, de tal forma que ao ciclo hidrológico, se sobressai um ciclo hidro-social de grande dimensão, de impacto ecológico e econômico.

Diante do pressuposto, nota-se diversos problemas correlacionados a impermeabilização desordenada do solo, devido à falta de planejamento urbano, ocasionando inundações em algumas regiões. Desse modo, tornam-se cada vez mais frequentes propostas ecológicas, em que, a água é reaproveitada. Uma forma eficaz para o reaproveitamento da água é a captação da chuva através do sistema de pavimentação permeável, que permite a infiltração da água no solo.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo demonstrar a implementação e eficácia de um pavimento permeável, no estacionamento de uma empresa localizada em Betim-MG. Sendo possível constatar a eficácia através de um protótipo confeccionado pelos autores. O modelo escolhido foi o

de pavimentação com infiltração parcial, na qual parte da água é drenada através do pavimento e direcionada para outro local, onde posteriormente poderá ser reutilizada.

Através dos cálculos foi possível concluir que a eficácia do pavimento foi positiva, pois toda água coletada supriria as necessidades da empresa e ainda sobraria um excedente para casos de dias atípicos.

Introdução

Segundo REIS (2005), com o progresso urbanístico, há uma influência nos recursos hídricos, principalmente ao que se refere o equilíbrio natural existente nos fatores qualitativos e quantitativos do ciclo hidrológico, pois as ações antrópicas originam grandes superfícies impermeáveis, que provocam o aumento do volume de escoamento superficial gerando prejuízos significativos para toda a sociedade, devido a cheias urbanas.

De acordo com MONTES e LEITE (2008), medidas estruturais podem ser introduzidas nos centros urbanos, sendo as mais viáveis a adoção de um sistema individual de coleta e armazenamento das águas pluviais, através de caixas/trincheiras de infiltração, assim como a adoção de dispositivos que atuam na quantidade e qualidade da escoação superficial de forma sustentável.

Incluídos entre os dispositivos considerados como compensatórios dos impactos da urbanização, os usos dos pavimentos permeáveis merecem destaque por seu grande potencial de aplicação, aliando um desejo corrente nas cidades, que é o da pavimentação das ruas e pátios para garantia de acesso, com a necessidade de se criarem novos espaços para as águas durante o período de cheias e reduzir o escoamento (MARTINS, 2012).

Segundo Pinto (apud Asce, 1992), pavimentos permeáveis são técnicas compensatórias em drenagem urbana que podem ser utilizadas principalmente em estacionamentos e ruas de tráfego leve (condomínios residenciais), por exemplo. Pode-se afirmar ainda que o pavimento permeável permite o abastecimento do lençol freático e a retenção de alguns poluentes da chuva (hidrocarbonetos e sólidos em suspensão), reduzindo assim a contaminação do solo. Além dos benefícios para o meio ambiente, pode ser utilizado em áreas que possuem alto nível de alagamentos, e a água absorvida pode ser captada com o auxílio de um sistema de drenagem e posteriormente, utilizada para outros fins.

As primeiras experiências com concreto permeável ocorreram na França entre os anos 1940 e 1950, devido ao crescimento das grandes cidades e à necessidade de se buscar técnicas que possibilitasse devolver ao solo sua capacidade de infiltração. As aplicações iniciais não foram bem

sucedidas. O crescimento populacional no período pós-guerra e o aumento crescente das superfícies impermeáveis nas cidades fizeram com que, ao final da década de 70, alguns países como os Estados Unidos, a França, a Suécia e o Japão voltassem a se interessar pelo concreto poroso. Em 1978, foi lançado na França pelo “*Ministère de l'Équipement*” um projeto de pesquisa com o objetivo de desenvolver novas soluções para a redução dos problemas de inundações. O pavimento permeável em concreto destacou-se dentre as soluções estudadas, devido à facilidade que apresenta de integração ao ambiente das cidades.

No final dos anos 80, o concreto permeável passou a ser produzido de forma industrial em alguns países. No final dos anos 1990 e início dos anos 2000, o material se firmou como tecnologia construtiva para contribuir para a drenagem nas grandes cidades.

A utilização do concreto permeável como solução para a pavimentação é recente no Brasil, mas sua utilização vem crescendo ano a ano. A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) desenvolve, desde 2007, pesquisas com concreto permeável para uso em pavimentação, como solução para os problemas relacionados à impermeabilização dos solos nos grandes centros urbanos. No ano de 2009, foi desenvolvido pela Universidade de São Paulo um projeto de pesquisa no qual um estacionamento de aproximadamente 1600m² foi pavimentado de um lado com asfalto permeável, de outro com blocos intertravados de concreto poroso, demonstrando a capacidade de absorção destes com relação ao primeiro, e contribuindo para o desenvolvimento da tecnologia de concreto poroso.

Em agosto de 2015, o concreto permeável deu mais um passo à frente como sistema construtivo no país com a publicação da NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e Procedimentos, que estabelece os requisitos mínimos para projeto, especificação, execução e manutenção dos diferentes tipos de pavimentos permeáveis em concreto.

Material e Métodos

Camadas do Pavimento Permeável

O Pavimento Permeável é composto pela camada de revestimento, camada de assentamento, camada de base granular aberta e camada de sub-base. Além disso, pode-se optar por utilizar a manta geotêxtil e um sistema de drenagem a fim reduzir a capacidade de infiltração da água, como mostrado na Figura 1.

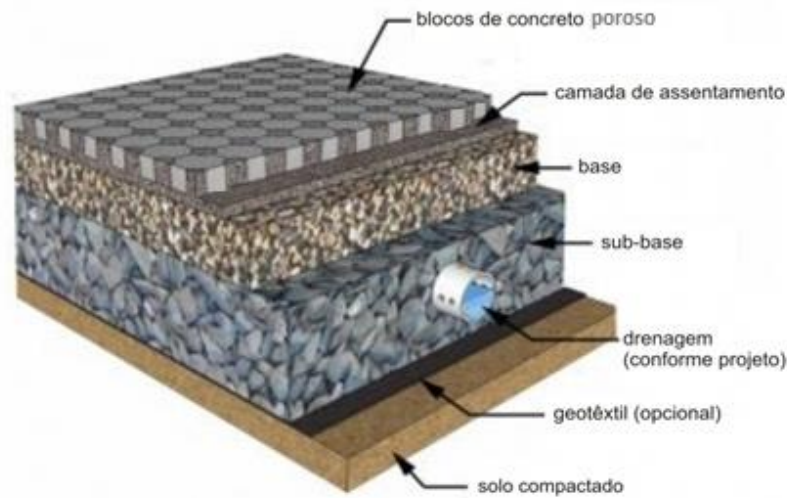


Figura 1: Camadas de Pavimentação Permeável.
Fonte: Rhino Pisos (2016).

- **Camada de Revestimento:** Deve ser capaz de deixar a água infiltrar-se facilmente, para atingir as camadas inferiores do pavimento. Pode ser de dois tipos:
Pavimento Asfáltico Poroso: É composto de forma similar aos convencionais, divergindo-se em relação a sua granulação, o que resulta em uma mistura asfáltica que pode conter de 18% a 25% de vazios (poros), permitindo rápida percolação da água.
Concreto Poroso: É um tipo de concreto com alto índice de vazios interligados, preparado com pouca ou nenhuma areia, o que permite a passagem de grandes quantidades de água, normalmente tem um índice de 15 a 25% de vazios, divergindo-se assim do concreto comum. Como possui alta porosidade, há redução da resistência deste material em relação ao concreto comum, por este motivo ele não pode ser utilizado em locais onde o tráfego é muito pesado.
- **Camada de Assentamento:** É formada por areia grossa, que contém de 3 a 5 mm de diâmetro e pedrisco lavado, que é um tipo de brita com dimensões de 4,8 a 9,5 mm, é nessa camada que será assentado o revestimento;
- **Camada de Base:** É composta de brita 3 que tem dimensões 38 a 50 mm (Figura 2);
- **Camada de Sub-Base:** É composta de rachão (que são pedras que não passam pelo processo de rebitagem) e que costumam a ter de 4 a 7 polegadas de tamanho;
- **Drenagem:** É o ato de escoar as águas de terrenos encharcados, por meio de tubos, sendo possível sua captação e posteriormente sua reutilização. Os canos ideais são de 300 a 400 mm, segundo NBR8890/03;

- **Camada Geotêxtil:** É utilizado em obras de drenagem graças a sua capacidade de conduzir água para impedir a mistura ou a interação de materiais de diferentes granulometrias. Além disso, é comumente empregada como filtro em obras hidráulicas.



Figura 02: Granulometria das camadas do Pavimento Permeável.
Fonte: ABCP (2010).

Funcionamento

Quando a água entra no pavimento e atravessa suas camadas granulares, boa parte de seus detritos ficam retidos, realizando-se assim a filtragem da água. A água absorvida pelo pavimento fica armazenada entre os espaços vazios das camadas de base e sub-base e evacuada aos poucos por meio de infiltração no solo ou captação. Essa infiltração pode ser: total, parcial e sem infiltração (Figura 3). A escolha do sistema vai depender do grau de permeabilidade do solo e do risco de contaminação deste. Na infiltração total a água é totalmente absorvida pelo solo, já na parcial é instalado um sistema de drenagem transportando boa parte da água para outro local (este sistema de drenagem é mais utilizado em casos em que o solo não tem uma boa taxa de infiltração) e no sistema sem infiltração, é colocado um sistema de drenagem e uma manta impermeável (geomembrana) direcionando a água para outro local.

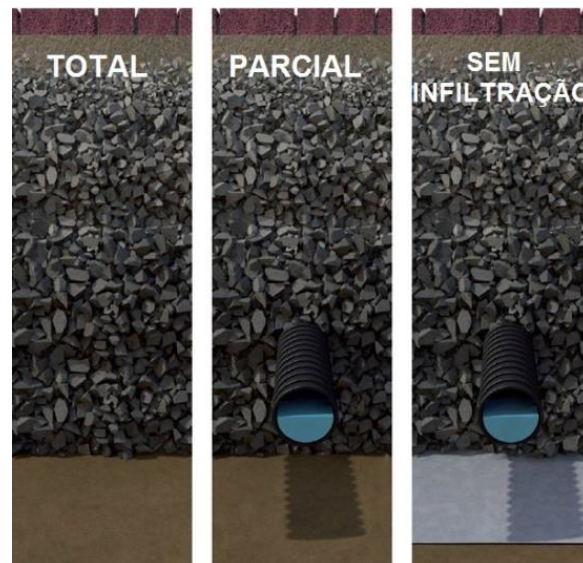


Figura 03: Infiltração do Pavimento Permeável
Fonte: Infraestrutura Urbana (2014).

Etapas da Instalação

1ºPasso – Preparar o subleito: Este deve ser constituído pelo solo natural do local ou proveniente de empréstimo;

2ºPasso – Posicionamento da manta geotêxtil: A manta de geotêxtil deve ser posta acima do subleito com a finalidade de evitar que parte dos finos dessa camada seja carregada para a sub-base;

3ºPasso – Instalação da Rede de Drenagem.

4ºPasso – Execução das camadas de sub-base e base: Ocorre o assentamento das britas na qual é válida a ressalta que as primeiras camadas devem ser espalhadas manualmente, pois a tração de pneus poderá romper a manta impermeável;

5ºPasso – Execução do revestimento permeável: Os blocos devem ser assentados sobre o berço de areia;

6ºPasso – Compactação: É necessário acomodar as peças na camada de assentamento, mantendo a regularidade da camada de revestimento, sem danificar as peças;

7ºPasso – Rejuntamento: Após o assentamento das peças, o material de rejuntamento seco deve ser espalhado sobre a camada de revestimento executada.

Manutenção e Durabilidade

O pavimento permeável necessita de manutenção adequada para ter um bom funcionamento. Para pavimentos com revestimento poroso, é necessária uma rotina de manutenção que inclua a sucção a vácuo dos poros, num mínimo de 4 vezes ao ano, eliminando o material sugado. Após sucção, deve ser feita uma injeção de água com mangueira de alta pressão, para manter os poros abertos e limpos. Deve-se evitar o uso de vassoura para a limpeza da superfície, pois estas empurram os finos para dentro dos poros do revestimento.

O pavimento também deve ser inspecionado várias vezes nos primeiros meses depois de instalado, logo após a alguns meses a inspeção deve ser anual. Essa inspeção anual deve ser realizada após uma tempestade, pois as poças colocarão em evidência os pontos de entupimento.

A durabilidade dos pavimentos permeáveis depende principalmente de alguns cuidados que podem ser tomados: a rotina de limpeza acima mencionada; a restrição à passagem de veículos pesados sobre o pavimento e o controle de sedimentos aplicado na fase de construção. Estudos comprovam que, quando bem projetado e conservado, o pavimento permeável tem durabilidade semelhante à de um pavimento comum.

Análise de Custo Benefício

Para a quantificação dos serviços em relação à execução de um pavimento permeável devem-se considerar os custos de licenças, material, mão-de-obra, operação e manutenção. Deste modo, realizou-se a comparação entre os custos de implantação do pavimento permeável com revestimentos de blocos vazados, com os custos de implantação de um pavimento com blocos de concreto comum, como mostrado na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1: Resumo dos Custos de Implantação do Pavimento Permeável com Revestimento de Blocos Vazados.

Materiais	Unid.	Preço Unit. (R\$)
Areia lavada grossa	m ³	23,00
Brita graduada, diam. 40mm	m ³	28,75
Brita graduada, diam. 50mm	m ³	38,75
Pedrisco (brita 4,8 mm)	m ³	20,00
Blocos de concreto vazados	m ³	24,15
Filtro Geotêxtil	m ²	5,75
Tubos para drenagem	m	20,65
Custo por m²	m²	161,05

Fonte: Adaptado de Acioli (2005).

Tabela 2: Resumo dos Custos de Implantação de um Pavimento com Blocos de Concreto Comum.

Materiais	Unid.	Preço Unit. (R\$)
Brita graduada, diam. 50mm	m ³	36,00
Areia lavada grossa	m ³	23,00
Filtro Geotéxtil	m ²	5,75
Tubos para drenagem	m	20,65
Blocos de concreto comum	m ²	24,50
Custo por m²	m²	109,90

Fonte: Adaptado de Acioli (2005).

Apesar de o pavimento permeável ser em média 31,76% mais caro e possuir limitações, em relação aos benefícios econômicos, as vantagens da aplicação do pavimento são grandes, pois existe a redução de gastos com tubulação de drenagem e outros sistemas urbanos, já que partes das águas que iriam para os córregos e rios infiltram e são retidas pelo solo, ou reaproveitadas.

Além disso, no que tange vantagens qualitativas, o pavimento permeável permite:

- Proteção do sistema de drenagem;
- Ajuda a diminuir enxurradas e enchentes;
- Possibilita a reutilização da água da chuva;
- Realimenta o aquífero subterrâneo;
- Atua como filtro, impedindo que impurezas e metais pesados atinjam o lençol freático;
- Permite melhor o aproveitamento de terrenos;
- Pode ser usado como zona de transição em barragens, junto aos maciços rochosos.

Resultados e Discussões

Implementação - Unifort

Segundo matéria apresentada no portal online E.M (Jornal Estado de Minas), dados apresentados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) apontam que 20% do volume total de água tratada consumida na grande BH, é destinada ao setor comercial sendo 5% empregado na atividade industrial.

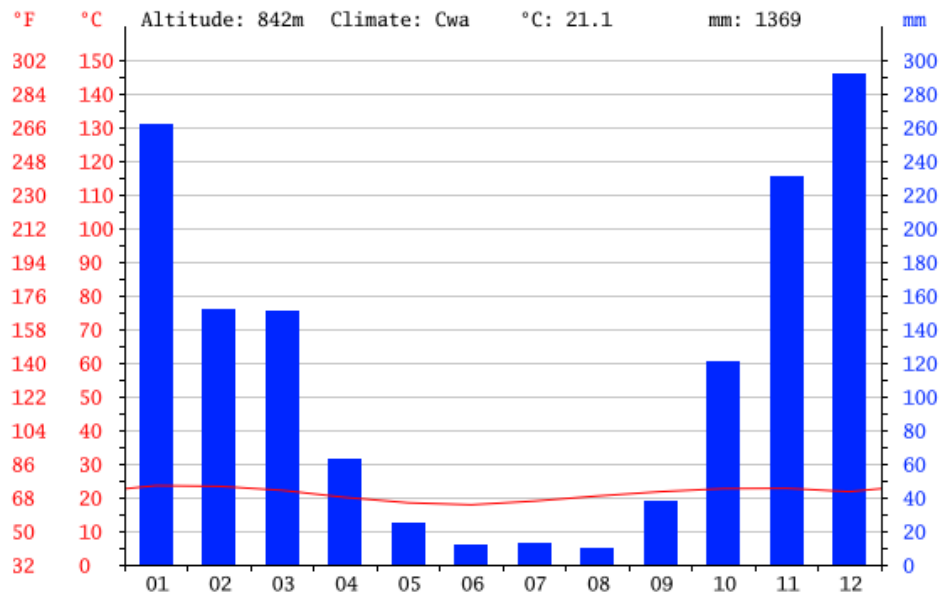


Figura 4: Índice Pluviométrico de Betim/MG.
Fonte: climate-data.org.

Feito o levantamento do volume de captação em relação ao índice pluviométrico da cidade de Betim, o valor médio anual da quantidade de água que seria captada pelo pavimento permeável é:

$$50\% \times 1369\text{mm}/\text{m}^2 = 684,5\text{mm}/\text{m}^2$$

$$\frac{684,5\text{mm}}{\text{m}^2} = \frac{0,6845\text{m}^3}{\text{m}^2} = 684,5\text{L}/\text{m}^2$$

Devido uma parte da área externa ser destinada para carga e descarga de caminhões, pensando na durabilidade e no bom funcionamento do pavimento permeável, foi escolhida uma área de 5.000m² para a aplicação, chegando a um valor de:

$$\frac{684,5\text{L}}{\text{m}^2} \times 5.000\text{m}^2 = 3422500\text{L}$$

Com base nos dados fornecidos pela empresa, e os resultados obtidos, foi desenvolvido o Gráfico 1 a seguir para melhor visualização de como seria a economia do consumo de água após a implantação do pavimento permeável.

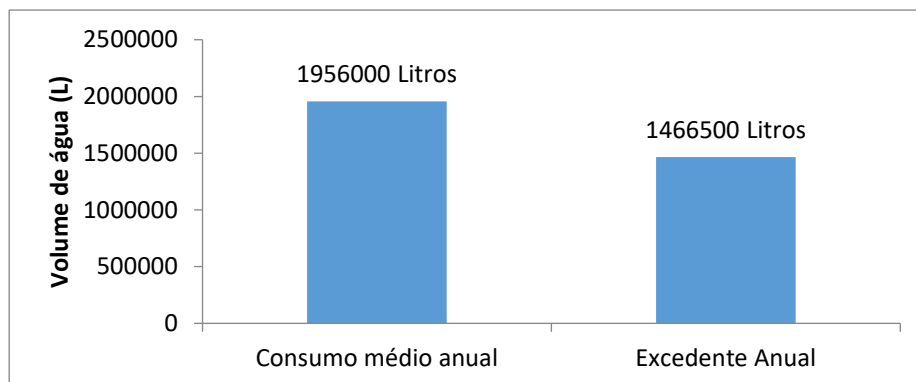


Gráfico 02: Captação anual Unifort.

Fonte: Autores.

Se implantado, o pavimento permeável sustentaria a necessidade da empresa e ainda restaria uma quantidade de 1.466.500 Litros para casos atípicos.

Protótipo

Os autores desenvolveram um protótipo com a finalidade de demonstrar o funcionamento do pavimento permeável discutido (Figura 5 e Figura 6), na qual foi apresentado na feira de projetos interdisciplinares no Centro Universitário UNA.



Figura 5: Protótipo visto de frente

Fonte: Autores.



Figura 6: Protótipo visto de cima
Fonte: Autores.

Considerações Finais

A utilização de pavimentos permeáveis como um sistema de drenagem mostrou-se eficiente no modelo estudado neste trabalho.

Tendo como característica de fator compensatório dos altos índices de impactos causados pela ação do homem no espaço urbano, a pavimentação propicia a redução de inundações nas grandes cidades, a diminuição do calor urbano, o aumento da filtragem e tratamento da água da chuva com retenção de sólidos em suspensão, visando atender os questionamentos levantados na sociedade, quanto ao uso adequado dos recursos naturais e sua preservação. Surgindo como uma quebra do paradigma atual, em que a política de pavimentação utilizada, consiste na aplicação de manta asfáltica, composta na sua maioria por petróleo, que, além de ser altamente poluente possui pouca ou quase nula capacidade de absorção, a pavimentação permeável possibilita, como no caso da Unifort, a redução tanto dos custos, quanto uma readequação do uso dos recursos hídricos. Porém, há algumas desvantagens como: o alto custo da instalação, a manutenção do pavimento e o fato do uso desta técnica ser apenas parte de um sistema global de gestão para águas pluviais e não um substituto para outras técnicas.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Rodrigo Braga. Calçadas Ecológicas: Construção e Benefícios Socioambientais. Disponível em: <www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/CAL%C3%87ADAS%20ECOL%C3%93GICAS.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. NBR 14545. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. NBR 13292. Rio de Janeiro, 1995.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302p

CANHOLI, A.L. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 294 p.

MARTINS, J.R.S. Asfalto poroso absorve água e reduz riscos de enchentes. Disponível em: Acesso em: 15 maio 2016.

PINTO, L. L. C. A. O DESEMPENHO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COMO MEDIDA MITIGADORA DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO URBANO São Paulo. 2011. 385 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ROBERTO, Alexandre Nunes; FADIGA JUNIOR, Francisco Martins. Drenagem Urbana: Curvas Intensidade Duração Frequência. Disponível em: Acesso em: 25 abril 2016.

VIRGILIIS, A. L. C. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 2009. 185 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

JARDIM DE CHUVA: UMA REVISÃO DE PESQUISAS DESENVOLVIDAS NO BRASIL

| ID 19367 |

1Janaina Maria de Paula Sales, 2Waleska Martins Eloi, 3Deborah Mithya Barros Alexandre

1 Instituto Federal do Ceará, e-mail: janainasalles91@gmail.com; 2 Instituto Federal do Ceará, e-

mail: waleska@ifce.edu.br; 3 Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, e-mail:

deborah.barros@cogerh.com.br

Palavras-chave: Infiltração; Escoamento Superficial; Técnica Compensatória.

Resumo

O processo de urbanização reduziu a quantidade de áreas permeáveis das cidades, resultando em desastres com inundações, cheias e alagamentos. Nesse contexto o conceito de drenagem tradicional passou a ser visto como insuficiente para a realização do manejo das águas pluviais e viu-se a necessidade de modificar os espaços, com implantações de técnicas que minimizem os desastres urbanos e auxiliem nos sistemas atuais. Em uma abordagem sustentável, o jardim de chuva é uma técnica compensatória que trabalha na recuperação da infiltração dos solos urbanos, contribuindo para o manejo e qualidade das águas escoadas, além de ser esteticamente agradável para a cidade. Diante do exposto, o presente trabalho tem como o objetivo analisar os estudos experimentais de jardins de chuva em meios urbanos, como técnica compensatória para o sistema de drenagem tradicional, por meio da pesquisa de revisão bibliográfica sobre o respectivo tema. As pesquisas realizadas no período de 2014 a 2020 indicam uma necessidade de análise mais aprofundada do comportamento climático e do estudo do solo, para garantir o desempenho esperado nesse tipo de sistema. Verificou-se também na literatura consultada que a eficiência dos jardins de chuva está diretamente relacionada a taxa de infiltração que o solo natural apresenta, havendo a possibilidade de modificar o solo de implantação, com a finalidade de restaurar as camadas permeáveis. A difusão desse tipo de sistema está em alimentar uma consciência cada vez mais sustentável do planejamento e controle das águas pluviais urbanas, como forma de alcançar melhorias contínuas no sistema de drenagem, utilizando técnicas de baixo custo. O número de pesquisas realizadas no Brasil sobre Jardim de Chuva ainda não é satisfatório, assim destaca-se a importância da realização de estudos, visando a implantação do sistema que se apresenta como excelente alternativa para a sustentabilidade urbana.

Introdução

O processo de industrialização das cidades brasileiras, em meados do século XX, foi palco de grandes transformações sociais e econômicas no país, o que provocou o êxodo rural e o aumento das aglomerações urbanas. Esse novo cenário foi fator indispensável para a aceleração do processo de urbanização, no entanto ocorreu de forma desordenada causando danos ao meio ambiente e transtornos provocados pela falta de planejamento. Segundo Justino et al. (2011), o crescimento das cidades e o aumento da população não tiveram o acompanhamento apropriado para as instalações de toda infraestrutura urbana que proporcionassem aos habitantes um sistema de saneamento adequado.

A falta de controle na ocupação do espaço urbano, gerou um crescimento excessivo de cobertura das superfícies permeáveis por materiais impermeáveis, provocadas pelas construções urbanas. Essas modificações, impostas pela urbanização, acarretaram mudanças significativas nas características do ambiente ocupado, provocando uma série de impactos ambientais e problemas de infraestrutura urbana (REIS; IHA, 2014).

Desses impactos, o que mais vem se destacando nos grandes centros urbanos são os relacionados a drenagem urbana, onde a falta de planejamento gerou complicações no aumento do número de enchentes, inundações, alagamentos, poluição dos corpos hídricos, veiculação de doenças, entre outros.

Moura (2005) destaca que os sistemas tradicionais de micro e macrodrenagem urbana tem se mostrado ineficientes para prevenção desses transtornos, pois os sistemas já existentes apenas direcionam o escoamento superficial para as bacias hidrográficas, sem atacar a fonte do problema. O processo do escoamento superficial está intimamente ligado a essa problemática, quando a intensidade e a precipitação local são superiores à velocidade de infiltração da água no solo, fato que naturalmente já ocorre, e o impacto se agrava com o aumento da impermeabilização dos solos urbanos, o que impede o processo de infiltração natural da água, causando o seu acúmulo na superfície e sobrecarregando o sistema de drenagem tradicional (PINTO et al., 1976).

O sistema convencional demonstra sua ineficiência nos períodos críticos, onde temos a ocorrência de grandes precipitações, apresentando o quão insustentável se tornou, ao permitir que a sua instalação juntamente com a urbanização tenha desintegrado o ecossistema e alterado o ciclo natural da água. Além disso, essa problemática tem causado grandes transtornos sociais e prejuízos econômicos para a sociedade e para o estado, tornando-se necessário a busca por medidas estratégicas mais adequadas a situação atual e futura dos centros urbanos.

Buscando a aplicação de medidas para combater essa demanda, Tucci (2005) destaca a importância de se criar um gerenciamento integrado de infraestrutura urbana, que condicione a ocupação do espaço à preservação das funções naturais da água no solo. Ele trata da busca por soluções ambientalmente sustentáveis aplicada ao planejamento do sistema de drenagem urbana que torne o solo novamente permeável por meio da recuperação da infiltração da água.

Para Osheen e Singh (2019) uma solução para esses problemas seria a implantação de Jardins de Chuva ou sistemas de biorretenção que, por definição dos autores, são paisagens rasas escavadas que utilizam processos naturais de infiltração e evapotranspiração para controlar de forma sustentável o escoamento superficial, retendo a água que gradualmente é infiltrada no solo. São sistemas que ainda tratam das águas, advindas de superfícies impermeáveis, por meios biológicos realizados pela vegetação cultivada no próprio jardim de chuva.

O jardim de chuva é um sistema já utilizado como técnica de manejo das águas pluviais urbanas em cidades de países desenvolvidos como Seattle e Portland (Estados Unidos), Melbourne (Austrália), na Inglaterra e no Japão. Nesse contexto, de difusão dos jardins de chuva em países desenvolvidos, subtrai-se, então, a problemática dessa pesquisa: o que a literatura científica nacional apresenta sobre o jardim de chuva como técnica compensatória de drenagem urbana? Assim, tem-se como objetivo analisar e revisar pesquisas experimentais realizadas sobre jardim de chuvas, como técnica compensatória dos sistemas de drenagem urbana do Brasil.

Material e Métodos

Para a realização da pesquisa considerou-se a importância de se analisar as soluções que são empregadas ou complementadas ao sistema de drenagem sustentável, como técnicas de manejo de águas pluviais, assim utilizou-se uma abordagem metodológica de caráter qualitativa do tipo “levantamento bibliográfico”, dos estudos de jardim de chuva que já foram realizados no Brasil.

Conforme Gil et al. (2002) a pesquisa bibliográfica pode ser definida como uma pesquisa que é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Esse tipo de pesquisa consiste em priorizar o objeto de estudo como fator de direção para a busca de um conjunto ordenado de procedimentos que solucionem o problema do estudo proposto (LIMA; MIOTO, 2007).

A elaboração deste trabalho utilizou-se da revisão de literatura para a construção de uma base teórica que sustente e encaminhe para o objetivo proposto por esta pesquisa.

A revisão bibliográfica ou revisão de literatura é a fase da pesquisa onde foi trabalhada a contextualização teórica do problema estudado. Os objetivos dessa estrutura é de relacionar as

pesquisas existentes na literatura sobre o tema e interagir entre os trabalhos, discutindo sobre os resultados encontrados e suas relações anteriores. Nesse contexto, pode-se afirmar que essa etapa busca esclarecer com pressuposto teórico, questões que sirvam como base para a construção de uma nova pesquisa, bem como as contribuições de investigações anteriores, integradas por discussão críticas do estado atual da questão (GIL et al., 2002).

O “estado atual da questão” citado pelo autor, também é conhecido por “estado da arte”, que significa, conforme Prodanov e Freitas (2013), “reconstrução do conhecimento vigente sobre o tema”.

Levy e Ellis (2006) destacam que para realizar uma revisão de literatura eficaz deve-se seguir três estágios ou etapas, para a seleção criteriosa dos dados buscados. Essas etapas consistem na entrada, processamento e saída de informações. Onde a entrada representa o levantamento bibliográfico sobre o assunto; o processamento consiste no método utilizado para a extração de dados; e a saída compreende a compilação das informações extraídas em forma de resumos e análises dos dados pertinentes. Entende-se, dessa forma, que a entrada aponta a importância da escolha segura dos materiais bibliográficos, pois a realização do processamento custará uma visão mais criteriosa da etapa, para que a qualidade de saída de informações não comprometa o entendimento e análise dos resultados adquiridos.

Para Prodanov e Freitas (2013) a escolha dos materiais levantados, devem estar correlacionados com o universo teórico contendo premissas e pressupostos que sirvam de modelo e embasem uma interpretação segura dos fatos e dados obtidos. Já Lima e Miotto (2007), reafirmam que a pesquisa bibliográfica é um procedimento metodológico importante na produção do conhecimento científico, sendo capaz de gerar, principalmente em temas pouco explorados, a postulação de hipóteses ou interpretações que servirão de ponto de partida para outras pesquisas.

Dessa forma, o intuito deste trabalho é verificar, comparar e analisar informações de diversas bibliografias de pesquisas experimentais sobre o assunto, para melhor compreender a dinâmica que ocorre no sistema de jardim de chuva no Brasil. O levantamento do material fonte, foi realizado por meio de pesquisas em livros e revistas científicas na forma física, e na forma eletrônica utilizando-se das plataformas de pesquisas acadêmicas, como por exemplo, o Google Acadêmico, Portal da CAPES entre outras. Além de acervos de universidades nacionais e internacionais que disponibilizam obras científicas em forma de periódicos, livros eletrônicos, monografias, dissertações e teses sobre o tema em questão. O levantamento bibliográfico que contempla a revisão de literatura sobre Jardim de Chuva no Brasil, se fez a partir do levantamento em publicações no período de 2014 a 2020.

Por meio de leituras e análises documentais nacionais e internacionais, foram realizadas triagens de coleta de dados para a construção da análise comparativa sobre a eficiência na

implantação desse sistema, que tem como finalidade obter base para projetos futuros. Utilizou-se, assim, bibliografias relacionadas ao assunto com suas devidas citações e fontes, delimitando os aspectos característicos e relativos ao objetivo da pesquisa.

Apresentação e Análise de Pesquisas Realizadas no Brasil

Embora os sistemas de drenagem sustentável seja uma técnica bastante difundida em países desenvolvidos, sendo funcional e essencial para a redução dos impactos pluviais urbanos, de baixo custo e que proporciona uma melhor qualidade de vida, essa técnica ainda é pouco difundida nacionalmente. Diante disto, esta etapa do trabalho objetiva concentrar os estudos e analisar os dispositivos de Jardins de Chuva (*rain garden*) já realizados no Brasil. Como forma de conhecimento e visão crítica em relação aos métodos e resultados já realizados.

Identificou-se que os estudos seguiram uma linha de pesquisa direcionada na abordagem inicial de caracterização da região, utilizando dados da literatura para análise dos fenômenos de precipitação, caracterização do clima local, bem como a localização topográfica da área investigada. O levantamento de dados da região tem importância ao definir o comportamento climático ao longo de alguns anos, o que pode caracterizar as médias de precipitações e a temperatura média da região. Dados essenciais para implantação do projeto.

O processo seguinte consistiu na análise e caracterização do solo, que fundamenta a definição da taxa de infiltração necessária para a realização dos cálculos de dimensionamentos. Verificou-se que as análises de solo foram realizadas de formas distintas em cada trabalho, seja em análise laboratorial, por identificação tátil-visual e até extraídos dados da literatura, alguns trabalhos não apresentaram essa característica.

Os modelos de cálculos definiram os dimensionamentos de projetos, que consistiram na utilização do método de cálculos utilizando os dados de intensidade de precipitação, duração e frequência (IDF). A etapa da vegetação em todos os trabalhos apenas reportou o tipo de planta que foi utilizada no experimento, sem detalhes mais relevantes de função de alguma espécie.

Apresenta-se a seguir uma síntese das pesquisas relevantes sobre jardins de Chuvas realizadas no Brasil, ordenadas por ordem cronológica compreendida entre os anos de 2014 e 2020.

Apresentação dos Sistemas dos Trabalhos Estudados

Sistema do trabalho 1

Melo et al. (2014) objetivou em seus estudos analisar a sensibilidade do dimensionamento, modelagem aplicada à infiltração, custo e comportamento do sistema em relação às funções de retenção, infiltração e armazenamento.

O jardim de chuva piloto, projetado em Recife e utilizado durante o estudo, foi instalado na Universidade Federal de Pernambuco (CTG/UFPE), e projetado para receber águas advindas do escoamento superficial.

A caracterização do solo natural foi determinada mediante amostras de solo coletadas até a profundidade de 1 m, utilizando-se a NBR 7181 (1984) e a classificação textural da Embrapa (SANTOS, 2006) (Tabela 1). A taxa de infiltração da superfície do solo natural é de 28,49 mm/h (MELO et al., 2014).

Tabela 1 – Classificação textural do solo natural onde foi implantado o jardim de chuva piloto da UFPE, em 2011

Camadas (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classificação textura
00 – 20	28,14	15,07	56,79	Franco argiloarenoso
20 – 50	16,41	28,99	54,59	Franco arenoso
50 -100	17,95	36,17	46,24	Franco

Fonte: Melo et. al. (2014)

Os autores utilizaram métodos matemáticos para o dimensionamento de dados de intensidade de precipitação, altura de precipitação, vazões de entrada e saída, altura de brita e por fim, dimensões adotadas (FIGURA 1).

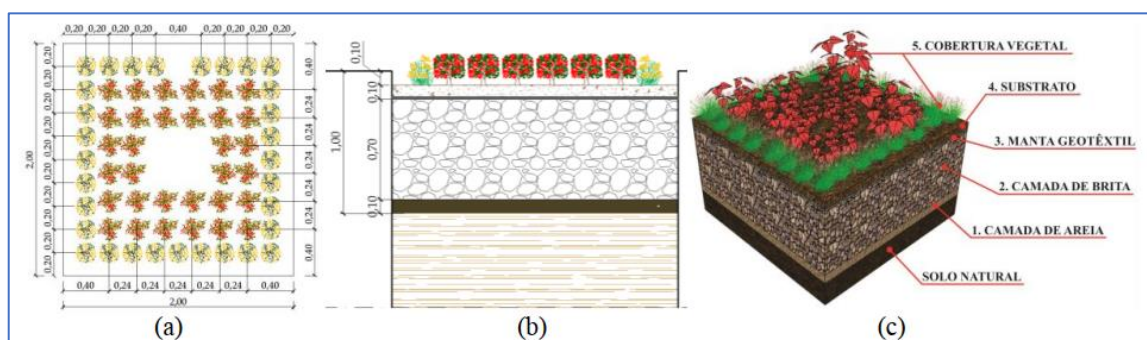


Figura 1: Dimensões adotadas no jardim de chuva piloto apresentadas em planta baixa (a) e em perfil (b), e uma vista tridimensional da estrutura (c) por Melo et al. (2014).

Fonte: Melo et. al. (2014).

Conforme Melo et al. (2014), a quantificação do volume de entrada no experimento foi determinada pelo volume precipitado diretamente sobre a área do experimento, somado ao volume produzido pelo escoamento superficial do telhado. Realizou-se uma proteção no entorno do jardim

de chuva piloto, evitando a contribuição do escoamento superficial das áreas adjacentes. Para direcionar as águas do telhado ao jardim de chuva piloto, instalou-se um conjunto para a captação das águas superficiais, formado por uma calha metálica abaixo da calha de concreto existente e por um tubo de queda direcionado ao experimento (Figura 2).



Figura 2 - Conjunto para captação das águas superficiais do telhado para o jardim de chuva piloto da UFPE.

Fonte: Melo et. al. (2014).

O monitoramento dos níveis de água armazenados no interior do experimento foi registrado por um sensor de nível automático, adotando intervalos de leitura a cada minuto. Para isso, instalou-se o equipamento em um piezômetro, alcançando a profundidade de 1 m. Os autores apresentaram em seus estudos uma análise de custo onde afirmam que a variação do custo depende das durações de chuva de projeto e o tempo de retorno utilizado no dimensionamento. Dessa forma, os valores apresentados para a implantação do jardim de chuva na cidade de Recife, considerando as durações de 5 e 60 minutos e tempos de retornos de 2 e 25 anos, apontaram variações de custo para o m² entre R\$ 419,64 e R\$ 2.871,00 (MELO et al., 2014).

Sistema do trabalho 2

Reis e Ilha (2014) objetivaram comparar o desempenho de infiltração do Jardim de Chuva com outro dispositivo já utilizado em algumas regiões do país, o poço de infiltração, como solução de drenagem de águas pluviais aplicáveis a sistemas prediais. Esse jardim de chuva, experimental, foi instalado em Campinas – SP, características locais não foram descritas no trabalho. O solo natural do local se apresentou como argila arenosa e silte arenoso, classificado após ensaios, a taxa de infiltração foi determinada por meio de valores médios de um ensaio de rebaixamento de água feito no local de

estudos de três poços de 0,15m de diâmetro e 2,50m de profundidade, resultando a uma taxa de 91,08 mm/h.

Utilizaram métodos matemáticos para o dimensionamento de dados de intensidade de precipitação e vazões de entrada, para as dimensões adotadas, apresentaram uma estrutura trapezoidal, com as seguintes dimensões: base menor com 1,40 m x 0,90 m; base maior com 2,0 m x 1,5 m; e profundidade útil de 0,465 m (FIGURA 3). Foi plantada *Zoysia japonica* – grama-esmeralda em placas nas paredes laterais. No centro do jardim de chuva foi instalado um dreno vertical de 100 mm de diâmetro e 1,0 m de profundidade, composto de agregados do tipo brita nº 1, revestido com manta geotêxtil, fazendo a interface entre a brita e o solo. Por fim, foram plantadas duas mudas de *Duranta erecta aurea*, conhecida popularmente por pingo-de-ouro, para auxiliar no processo de infiltração de água de chuva no solo (REIS; ILHA, 2014).

Conforme os autores na avaliação do desempenho dos sistemas de infiltração foram realizados o monitoramento em dois tempos de enchimento do jardim de chuva, que apresentou extravasamento após 6 min e reteve 60% da água descarregada no sistema até aquele período. Esse valor é, em média, 14% inferior à capacidade de retenção esperada em projeto, o que demonstra que este sistema se encontra subdimensionado, sendo necessário aumentar o volume de retenção para atingir o desempenho de projeto.



Figura 3 - Jardim de chuva dimensionado para avaliação de desempenho hidrológico.

Fonte: Reis e Ilha (2014)

Sistema do trabalho 3

Com propósito inicial de elaborar o dimensionamento de um projeto de jardim de chuva em um ponto crítico da cidade Goionésia - GO, Leite e Melo (2019) utilizaram-se de questionários aplicados à população para levantamento dos principais pontos de alagamento e inundação da cidade, que resultasse na escolha do lote de instalação. A área do experimento (FIGURA 4) foi baseada na porcentagem mínima da área impermeável adotada na literatura. No experimento, a área adotada

foi de 38,48 m², sendo 7m de diâmetro, que segundo os autores a taxa de ocupação será de 100% devido a sua área de terreno ser exatamente igual a sua área de contribuição.



Figura 4 – Rotatória de instalação do Jardim de Chuva.
Fonte: Leite e Melo (2019)

Conforme Leite e Melo (2019) no esquema projetual (FIGURA 5) mostram que as camadas foram dispostas em 6 partes que consistem na camada de solo natural, camada de areia, camada de brita, manta geotêxtil, substrato e por fim cobertura vegetal.

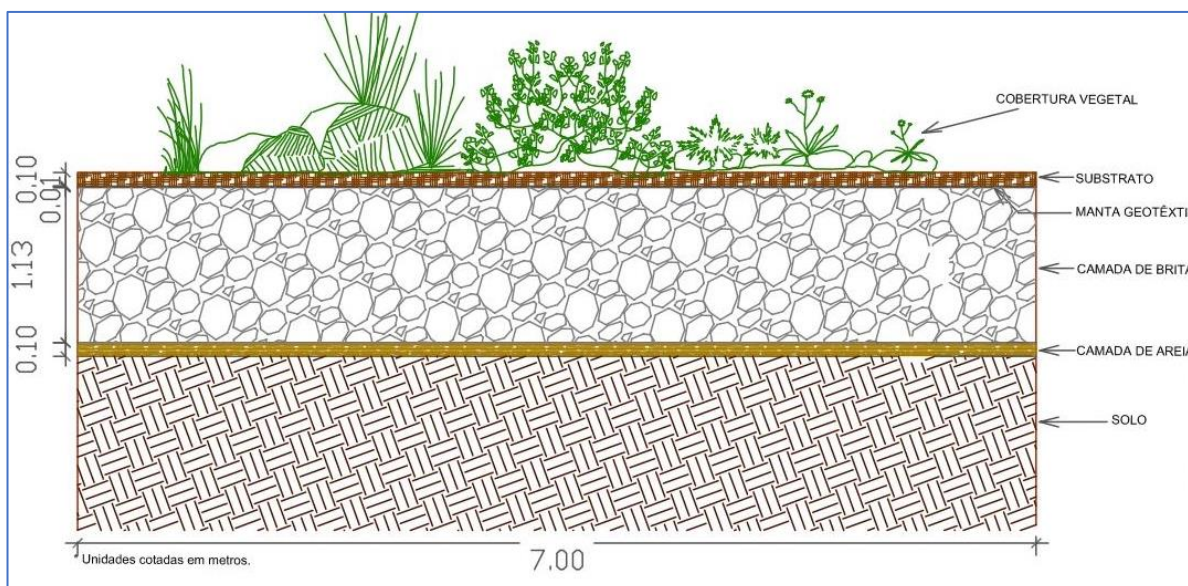
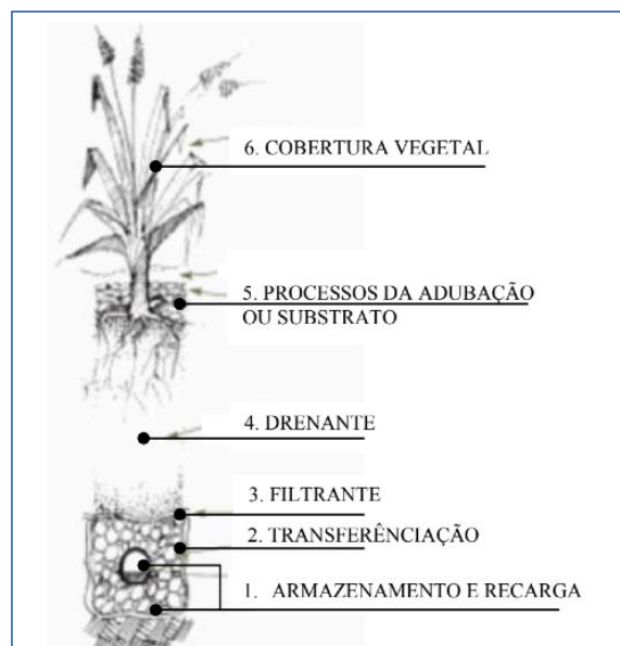


Figura 5 – Projeto de camadas para o jardim de chuva na cidade de Goionésia – GO.
Fonte: Leite e Melo (2019).

Sistema do trabalho 4

Saatkamp (2019) realizou estudos sobre um projeto que consistia no dimensionamento e propostas de instalação de 13 jardins de chuva em um condomínio residencial, localizado na cidade de Porto Alegre – RS. As análises da autora, apontaram área de contribuição de 5.120,00 m² de todo o condomínio que contribuiu com 10% para definição da área de projeto, resultando em 585,00 m² que foram divididos em 5 zonas de distribuição dentro do condomínio. Essas 5 zonas, receberam a instalação de um total de 13 jardins de chuva. As áreas de jardins de chuva variaram entre 20 e 100 m² de área de projeto. O volume de entrada encontra-se em um intervalo de 10,91 a 56,45m³ e uma variação entre 0,28 e 1,39 m³ de volume de saída. O armazenamento de cada sistema apresentou volumes entre 10,63 e 55,05 m³. Conforme autora o solo onde foi construído o condomínio é um Argissolo Vermelho Distrófico, dados encontrados na literatura. Dessa forma, ao apresentar características argilosas, o solo possui baixas taxas de infiltração, o que colabora com o aumento do escoamento superficial.

A estrutura de projeto por motivos de segurança e eficácia do sistema, serão projetadas com camadas de dreno e filtro, porém sem a presença da tubulação, tendo como base o jardim Projetado por Melo (2011), mesmo projeto apresentado por Melo et al (2014) na qual se basearam no modelo de Dunnett e Clayden, 2007 apud MELO, 2011 (FIGURA 6).



**Figura 6 – Modelo para projeto de jardim de chuva da cidade de Porto Alegre -RS.
Fonte: Dunnett e Clayden (2007, apud MELO, 2011).**

As camadas (FIGURA 7) e materiais dos sistemas, foram compostas basicamente por brita e areia com a finalidade de potencializar o movimento da água no sistema. Foi utilizado uma manta geotêxtil entre o substrato e a camada de brita, a fim de evitar a entrada de partículas finas e elementos contaminantes. Dessa forma o projeto de estudo da autora, configura uma estrutura de 6 camadas de materiais que auxilia no desempenho do jardim de chuva, para o alcance da eficiência do dispositivo (SAATKAMP, 2019).

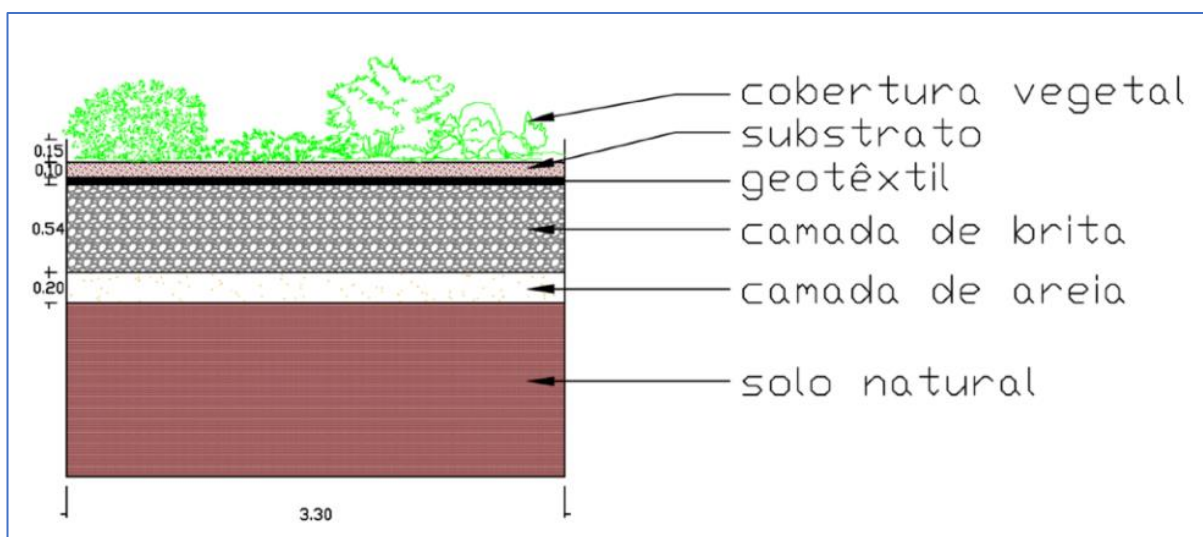


Figura 7 – Camadas de um dos jardins de chuva proposto.
Fonte: Saatkamp (2019).

Em seus estudos, Saatkamp (2019) realizou uma estimativa de orçamento simplificado para servir para dar uma noção da economia gerada em substituir o sistema de drenagem pluvial convencional construído no condomínio por um sistema de jardins de chuva, onde a construção dos jardins foi orçada em R\$ 78.839,88, um valor quase sete vezes menor que para construir um outro tipo de dispositivo de drenagem.

Sistema do trabalho 5

Silva et al. (2020) realizaram investigação no município de Montes Claros (MG), como forma de compreender melhor esta solução de drenagem urbana, ao verificar que em períodos chuvosos existiam falhas no sistema de drenagem. A composição da camada interna de projeto (FIGURA 8), apresenta camadas que compreende: manta impermeabilizante no fundo do sistema; sistemas de ecodreno, que contém argila expandida ou carvão vegetal; manta permeável de Bidim; uma camada de 50 cm de mistura (60% de areia e 40% de matéria orgânica) e cobertura vegetal.

O ecodreno a ser utilizado é um sistema de biorretenção próprio para os jardins de chuva, o qual tem duas funções na gestão da água de chuva urbana: controle das inundações e prevenção da contaminação. Ele é uma estrutura de suporte, feita de plástico reciclado que aumenta em muito a capacidade de retenção do jardim de chuva e assegura um trânsito normal sobre a área (SILVA et al., 2020).

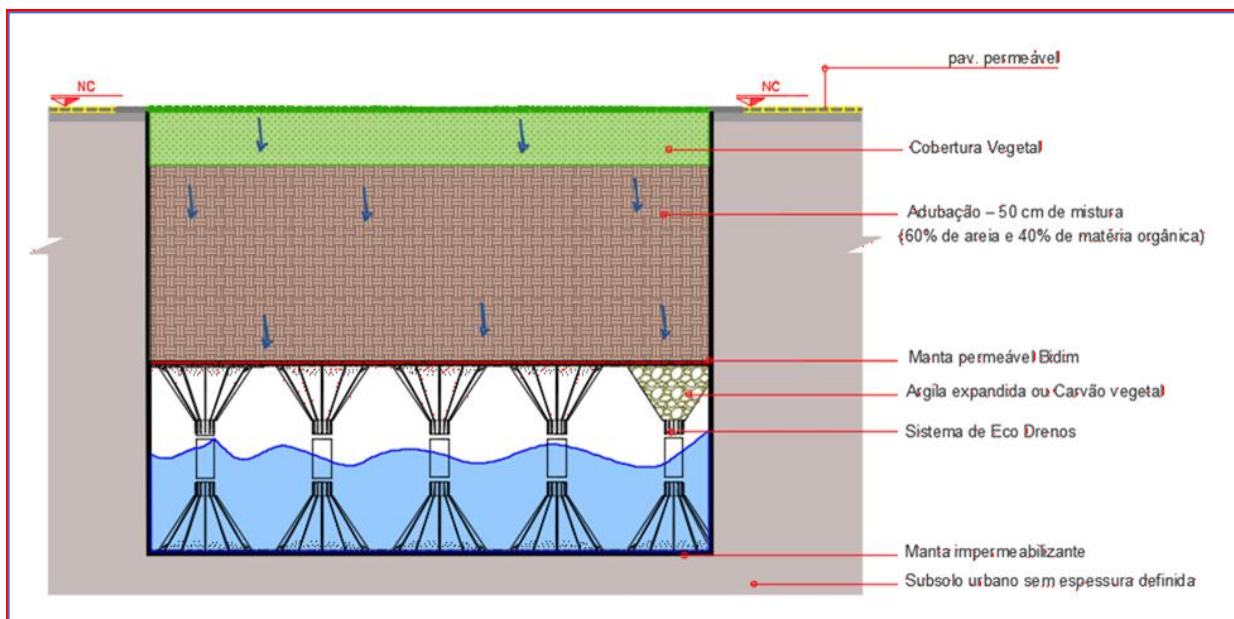


Figura 8 – Modelo para projeto de jardim de chuva com ecodreno da cidade de Montes Claros - MG.

Fonte: Silva et al. (2020).

Os autores ainda realizaram uma análise de custo com base nos valores da Tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) de 2018 e cotação de mercado, visando definir a importância dos recursos exigidos para a construção do sistema de biorretenção, verificando a variabilidade de preços. Dessa forma a análise apresentada por Silva et al. (2019) apontaram o valor de R\$ 320,75 por metro quadrado do jardim de chuva.

Quadro síntese das Pesquisas no Brasil

A seguir estão relacionados os dados extraídos dos estudos, considerado relevantes para a compreensão e análise do desempenho dos jardins de chuva estudados, e estão apresentados em quadros e tabela.

Quadro 1 - Resumo dos objetivos das pesquisas

Autor	Objetivo da Pesquisa
Melo et al. (2014)	Analisar a sensibilidade do dimensionamento, modelagem aplicada à infiltração, custo ¹ e comportamento do sistema em relação às funções de retenção, infiltração e armazenamento.
Reis e Ilha (2014)	Objetivou comparar o desempenho de infiltração do Jardim de Chuva com outro dispositivo já utilizado em algumas regiões do país, poço de infiltração ² como solução de drenagem de águas pluviais aplicáveis a sistemas prediais.
Leite e Melo (2019)	Elaborar um projeto de drenagem (Jardim de Chuva) em um ponto crítico da cidade de Goianésia/GO tendo em vista melhorar o escoamento superficial das águas da chuva.
Saatkamp (2019)	Projetar um sistema de drenagem pluvial com áreas de biorretenção que permitam a infiltração e a percolação da água no solo, e analisar a eficácia desse sistema quando comparado à estrutura de drenagem adotada no empreendimento analisado.
Silva et al. (2020)	A investigação foi realizada com o bjetivo de compreender melhor esta solução de drenagem urbana, ao verificar que em períodos chuvosos existiam falhas no sistema de drenagem.

¹ O parâmetro analisado pelos autores não foi considerado neste trabalho.

² A análise desse sistema não foi pertinente para levantamento de dados.

Quadro 2 – Características da região onde os projetos foram instalados

Autor	Local do Estudo	Característica da Região	Clima	Temp. Média (°C)	Média de Precipitações (mm)
Melo et al. (2014)	Recife - PE	A planície do Recife está localizada um pouco acima do nível do mar (2m a 10 m). Além disso, a cidade é rodeada por morros e elevações topográficas, o que proporciona o acúmulo de água em seu interior, dificultando a drenagem natural das águas em épocas chuvosas.	Tropical (quente e úmido)	23,9	2.254,00
Reis e Ilha (2014)	Campinas - SP	-	-	-	-
Leite e Melo (2019)	Goianésia - GO	A cidade é banhada pelos mananciais do Rio dos Peixes, Rio dos Patos e Rio dos Bois. O local do projeto, no período de chuvas, é inundado pelas águas pluviais, dificultando o trânsito no local, gerando consequências indesejadas para a população.	Tropical (úmido)	26,5 ³	-
Saatkamp (2019)	Porto Alegre - RS	Empreendimento residencial composto por 200 unidades divididas entre 10 torres e 190 vagas de garagem coberta. A hidrologia do local, o condomínio situa-se dentro dos limites da Bacia Hidrográfica do Gravataí, no trecho Baixo Gravataí - Margem Esquerda.	Subtropical (verão quente)	19,5	1.416,20
Silva et al. (2020)	Montes Claros, Minas Gerais	Localizado em na Bacia do Rio Verde Grande, rodeado por morros e elevações topográficas o que proporciona o acúmulo de água em seu interior dificultando a drenagem natural das águas em épocas chuvosas.	Tropical (quente e úmido)	33,64	951,47

³ Conforme os autores, longo do ano, em geral a temperatura varia de 19 °C a 34 °C e raramente é inferior a 17 °C ou superior a 37

°C. Logo para efeito de apresentação utilizou-se a média das temperaturas que costuma ocorrer no local (19 e 24 °C).

Tabela 2 – Dados dos dimensionamentos obtidos no projeto

DIMENSIONAMENTO DO O PROJETO								
Autor	TR ¹ (anos)	% da área de projeto	Área de Contribuição (m ²)	Área de projeto (m ²)	Profundidade (m)	Volume de Armazenamento (L)	Duração de chuva de projeto (min)	Taxa de infiltração de projeto (mm/h)
Melo et al. (2014)	25	5	74,80	4,00 ²	1,00	1.400,00	120	312
Reis e Ilha (2014)	10	6	50,00	3,00	1,00	8.500,00	10	-
Leite e Melo (2019)	10	4	976.450	38,48	1,44	-	120	-
Saatkamp (2019)	5	10	5.100,00	585,00 ³	1,00	293.530,00	15	-
Silva et al. (2020)	10	5%	21.400,45	1070,08	-	53.510,00	30 ⁴	-

¹TR- Tempo de Retorno; ²Valor pela porcentagem, resulta em 3,74 m², logo os autores arredondaram para efeito de projeto.; ³Valor corresponde a área de 13 jardins de chuva; ⁴Valor aproximado conforme gráfico de autores.

Quadro 3 – Resultados obtidos nos estudos

Autor	Resultados segundo os autores
Melo et al. (2014)	Os níveis de camadas apresentaram correspondência positiva e rápida em relação à distribuição da precipitação ao longo do dia. Diante da avaliação das funções de retenção, armazenamento e infiltração, pode-se constatar que o jardim de chuva piloto atingiu as perspectivas quanto ao amortecimento dos volumes produzidos pela área de drenagem adotada.
Reis e Ilha (2014)	Os resultados do hidrogramas indicaram que a estrutura dos sistemas de infiltração proporcionou melhora no desempenho do sistema predial de água pluvial, conferindo, assim, maior grau de sustentabilidade com a gestão da água pluvial no próprio lote.
Leite e Melo (2019)	Pode-se afirmar que seu objetivo foi concretizado, haja vista que o mesmo conseguiu apresentar os principais aspectos do dimensionamento.
Saatkamp (2019)	O dimensionamento dos jardins de chuva se mostrou bastante flexível, uma vez que essas estruturas de retenção podem ser instaladas em praticamente qualquer área com capacidade de infiltração disponível e pode adotar diversos formatos ou tamanho, dependendo do volume de escoamento a ser retido e infiltrado por cada estrutura.
Silva et al. (2020)	Diante das funções de armazenamento e infiltração, pode-se dizer que o sistema de biorretenção atingiu as perspectivas quanto ao recebimento dos volumes produzidos pela área de drenagem adotada temporariamente. Isso se deu, devido à alta taxa de infiltração do solo para a confecção do jardim de chuva e o eco dreno, responsável por acumular a água captada, direcionando-a posteriormente para fins de reaproveitamento em áreas públicas.

Foram identificados que alguns estudos apresentaram ausências de informações quando comparados as demais experiências. Conforme quadro 4, os dados de histórico pluviométricos, caracterização do solo natural e a taxa de infiltração do projeto, se apresentaram ausentes em algumas pesquisas realizadas.

Quadro 4 - Relação dos métodos utilizados e características apresentadas para o dimensionamento de projeto de jardim de chuva

Métodos utilizados	Estudos				
	Melo et. al (2014)	Reis e Ilha (2014)	Leite e Melo (2019)	Saatkamp (2019)	Silva et al. (2020)
Características Locais	X	-	X	X	X
Levantamento pluviométrico local (Média anual)	X	-	-	X	X
Características e estudo do solo	X	X		X	
Intensidade - Duração- Frequência	X	X	X	X	X
Métodos de Cálculos	X	X	X	X	X
Método Racional	X	X	X	X	X
Cálculo da Intensidade de Precipitação	X	X	outros ⁸	X	X
Cálculo do Volume de Entrada	X	X	X	X	X
Cálculo do Volume de Saída	X	Outros ⁹	X	X	
Cálculo para Tempo de Concentração	X	X	X	Outros ¹⁰	X
Tempo de Retorno	X	X	X	X	X
Cálculo para Camadas Internas	X	-	X	X	
Características apresentadas do estudo de dimensionamento					
Descrição das Camadas Internas	X	X	X	X	X
Área de Contribuição	X	X	X	X	X
Área de Projeto	X	X	X	X	X
Volume de Armazenamento	X	X		X	X
Duração de chuva de projeto	X	X	X	X	X
Taxa de Infiltração de Projeto	X	X	-	-	-
Monitoramento do jardim de chuva	X	X	-	-	-

⁸ O valor de I é adotada igual ao tempo de concentração; ⁹ Os autores utilizaram hidrogramas para a estimativa de dados; ¹⁰ Não foram identificados sobre ao projeto. A literatura caracteriza a sub-bacia local, com tempo de concentração de 4,0 horas e uma densidade de drenagem de 1,229.

Identificou-se que os estudos apresentaram uma semelhança no método de dimensionamento dos projetos de jardins de chuva, utilizando-se de métodos matemáticos. Os estudos se apresentaram como satisfatórios em relação aos resultados encontrados, podendo-se dizer que os objetivos dos estudos foram alcançados.

Em relação aos dados do solo, Melo et al. (2014) afirmam que “[...] o aumento e a variabilidade da infiltração das águas no solo dependem mais da estrutura e da composição de solo permeável inserida no jardim de chuva que do tipo de solo urbano natural existente”. Esse dado foi obtido após, os ensaios de infiltração realizados na superfície do jardim de chuva, apresentarem grande variabilidade nos valores. Dessa forma entende-se que os solos escolhidos para a constituição das camadas filtrantes do jardim de chuva têm grande importância no dimensionamento. Assim, concluem, afirmando que para o dimensionamento da estrutura do jardim piloto, um dos pontos mais importantes é a camada de armazenamento, representada pela altura de brita a ser adotada.

Conforme Reis e Ilha (2014) os resultados obtidos em seus estudos, indicam a necessidade de um amadurecimento nos processos de dimensionamento dos sistemas prediais de infiltração de água de chuva.

Identificou-se que os cálculos de dimensionamento da estrutura dos jardins de chuva na maioria das pesquisas estudadas seguiram etapas de cálculos para o dimensionamento conforme a FIGURA 9.

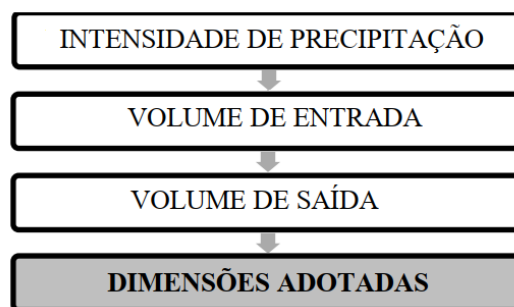


Figura 9 – Etapas de cálculo adotadas nos dimensionamentos da estrutura.
Fonte: Adaptado de Melo et al. (2014)

Os cálculos para a determinação da intensidade de precipitação utilizados nas pesquisas levantadas, consideraram a equação de Intensidade-duração-frequência. O método (IDF), conforme Silva et al. (2020), é um dos mais utilizados em hidrologia para medir as chuvas máximas de um ponto em uma bacia hidrográfica. Com base nos eventos ocorridos no passado e a partir de uma série estatística de dados pluviométricos, a curva IDF permite que se estime a intensidade máxima de uma chuva para definir a duração e tempo de retorno de um determinado evento chuvoso (BERTONI; TUCCI, 2001).

A equação é modificada conforme a variação histórica da região, ou seja, cada local modificará a relação IDF, que é determinada empiricamente através da observância de uma longa série de dados pluviométricos locais (BACK, 2006).

Destacamos que, já em 2011, Poletto relatava sobre as técnicas compensatórias afirmando que englobado no conceito de desenvolvimento sustentável, seja aplicado com bom aproveitamento no Brasil, é importante que haja uma adequação à nossa realidade, tendo em vista que a maior parte dos estudos e aplicações foi realizada em países desenvolvidos e com clima temperado.

Considerações Finais

Todas as pesquisas reportam a importância e os benefícios que os sistemas sustentáveis são capazes de proporcionar ao meio ambiente urbano. Assim como, a idealização de projeto de jardim de chuva, que pode ser realizado em qualquer local que tenha a finalidade de reduzir o escoamento na fonte do problema. Sobretudo, utilizando de técnicas sustentáveis de baixo custo.

A contextualização das vantagens que os jardins de chuva proporcionam para o meio urbano, tornaram-se necessárias para um prévio entendimento de como o sistema irá trabalhar em locais de solos impermeáveis. Entretanto, uma análise mais acentuada de estudos comportamentais desses sistemas, em meios urbanos precisam serem experimentadas, analisadas e monitoradas para a conclusão assertiva da eficiência desse tipo de sistema.

Os estudos analisados demonstraram na prática que os jardins de chuva obtêm alta capacidade de armazenamento, infiltração e redução do volume de escoamento.

Mesmo com as análises satisfatórias das pesquisas analisadas, identificou-se limitações que comprometeram um estudo mais eficiente sobre os jardins de chuva. Perceber-se que a técnica é pouco difundida no Brasil, está limitada há poucos estudos experimentais. Fato que limitou esta revisão e, até dos próprios autores, de realizar medidas mais efetivas para as análises, e explicações dos dados explorados por eles.

Verificou-se que alguns dos estudos, omitiram ou não consideraram dados importantes para a literatura, que servisse de base para uso de conclusões ou análises mais precisas de estudos futuros.

Nota-se que os projetos de jardim de chuva desenvolvidos nos países de domínio da técnica, servem como base para a utilização de princípios que oriente para o correto dimensionamento dos jardins de chuva no Brasil. De forma a adaptar o local de instalação para receber a técnica verde.

A difusão desse tipo de sistema está em alimentar uma consciência cada vez mais sustentável do planejamento e controle das águas pluviais urbanas, como forma de alcance de melhorias contínuas no sistema de drenagem, utilizando técnicas de baixo custo.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **solo: análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984
- Back, A. J. **Relações intensidade-duração-freqüência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina**. Acta Scientiarum, Agronomy, v.28, p.575-581, 2006.
- BACK, Á.J. Relação Intensidade-duração-freqüência de chuvas intensas de Chapecó, estado de Santa Catarina. Acta Scientiarum
- Agronomy, Maringá, v.28, n.4, p.575-581, 2006.
- BERTONI, J.C; TUCCI, C. E. M. **Precipitação: Ciência e aplicação**. In: TUCCI, C. E. M. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. 2. Ed. Porto Alegre: Ed Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. p. 35-51, 943p
- GIL, A. C. et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.
- JUSTINO, E. A., PAULA, H. M., PAIVA, Ed C. R. **Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG**. Espaço em Revista, v. 13, n. 2, 2011.
- LEITE, M. H. S., MELO, V. S. **Aplicação de um Jardim de Chuva em um Ponto Crítico da Cidade de Goianésia-GO**. 2019.
- LEVY, Y., ELLIS, T.J. **A system approach to conduct an effective literature review in support of information systems research**. Informing Science Journal, v.9, p.181-212, 2006.
- LIMA, T.C.S., MIOTO, R.C.T. **Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: uma pesquisa bibliográfica**. Rev. katálysis, Florianópolis, v. 10, n. spe, p.37-45, 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-49802007000300004&lng=en&nrm=iso>. acesso em 21 de agosto de 2020.
- MELO, T. A.T. et al. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas**. Ambient. constr., Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, Dec. 2014. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400011&lng=en&nrm=iso>. access on 26 Aug. 2020.
- MELO, T.A.T. **Jardim da chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- MOURA, T.A.M. (2005). **"Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos"**. Brasília: Universidade de Brasília. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 118p
- OSHEEN; SINGH, KK. **Rain Garden—A Solution to Urban Flooding: A Review**. In: Agnihotri A., Reddy K., Bansal A. (eds) Sustainable Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 30. Springer, Singapore, 2019. p. 27-35.
- PINTO, N. L.S. et al. **Hidrologia básica**. Editora Blucher, 1976.
- POLETO, C. SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica. Revista Thema, Rio Grande do Sul, v.8, n.1, 2011. <<http://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/38/38>> Acesso em 01/07/2021.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O. **Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva**. Ambiente Construído, v. 14, n. 2, p. 79-90, 2014.

SAATKAMP, G. A. **Jardim de chuva: estudo comparativo de um sistema de biorretenção de uma bacia de amortecimento pluvial**. 2019.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Serviço de Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

SILVA, R. C. et al. **ELABORAÇÃO DE PROJETO DE JARDINS DE CHUVAS PARA MINIMIZAÇÃO DAS ENCHENTES. CONSTRUINDO**, v. 12, n. 1, p. 56-66, 2020.

TUCCI, C.E.M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

USO DE FILTRO DE CARVÃO ATIVADO EM POÇO DE INFILTRAÇÃO PARA RETENÇÃO DE CONTAMINANTES METÁLICOS PRESENTES NO AMBIENTE URBANO

| ID 19410 |

1 Jhonatan Matos de Souza, 2 Cristiano Poletto, 3 Wilkinson Lopes Lázaro, 4 Francisco Lledo dos Santos

1 Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: jhonatan.matos@unemat.br; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: cristiano.poletto@ufrgs.br 3 Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: wilkinson.lopes@unemat.br 4 Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: franciscolledo@unemat.br

Palavras-chave: alagamento; poço de infiltração; filtragem.

Resumo

O alagamento em um ambiente urbano ocorre comumente em decorrência de um ou mais fatores associados, dentre eles, o alto nível de impermeabilização da superfície do solo, o perfil planialtimétrico do terreno (topográfico) ou uma deficiência do sistema de drenagem.

Nas cidades, o alagamento impacta negativamente a vida de seus moradores e transeuntes, que ficam impossibilitados de se deslocarem normalmente durante o fenômeno de chuvas intensas, com potenciais perdas humanas, além de bens materiais, coexistindo ao risco de contaminação através do contato direto ou indireto com a água retida na via.

Essa pesquisa traz, como alternativa estrutural, o uso do poço de infiltração adaptado para a mitigação do alagamento, adjunto de forma paralela ao sistema de drenagem pública de águas pluviais, promovendo a restituição do recurso hídrico ao lençol freático através da infiltração e notadamente, livre de poluentes externos. Deste modo desenvolveram-se testes para a proposição de um sistema de filtragem que permita a retenção de contaminantes e infiltração da água no solo.

Na determinação da eficácia do sistema proposto foram coletadas, para ensaio em laboratório, amostras de água de escoamento superficial durante a precipitação na via em uma região delimitada dentro da cidade de Cuiabá-MT, com a finalidade de detectar contaminantes presentes no ambiente urbano, Ferro (Fe) e metais pesados como Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Zinco (Zn) e Níquel (Ni).

O sistema de filtragem desenvolvido para o poço de infiltração se utiliza de propriedades físico-químicas do carvão ativado. Esse material previsto como uma camada de filtragem teve como critério

a eficiência na retenção de poluentes comparando aos valores obtidos em campo com metais carregados com o escoamento superficial durante a chuva.

Posteriormente, foram definidas especificações técnicas suficientes para uma filtragem satisfatória, permitindo que a quantidade de contaminantes presentes atendam aos limites de concentração considerados seguros, previstos em legislação vigente a saber: resolução CONAMA nº 396 de 7 de abril de 2008, dentre outras.

Introdução

No ambiente urbano o ciclo hidrológico sofre um forte impacto, principalmente devido, à impermeabilização desses espaços, canalização do escoamento, aumento da poluição em decorrência da contaminação do ar e superfícies, além da deposição de material sólido pela população (TUCCI, 2003).

Para Canholi (2014, p. 21), “a urbanização caótica e uso inadequado do solo provocam a redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios e estes, por sua vez, demandarão outros locais para ocupar”. Segundo o mesmo, a falta de visão sistêmica no planejamento da macrodrenagem é a grande responsável nesse caso.

Durante um período de chuvas intensas algumas cidades sofrem os efeitos de alagamentos que atuam como um impacto negativo sobre a vida de moradores e transeuntes que ficam impossibilitados de se deslocarem normalmente, coexistindo ao risco de contágio por doenças infecciosas e compostos tóxicos através do contato direto ou indireto com a água escoada.

O alagamento pode ser agravado por alguns fatores como, falta de manutenção no sistema de drenagem de águas pluviais e/ou o seu mal dimensionamento para o período dessas precipitações na região, sendo estas ações padronizadas por órgãos gerenciadores como garantia contra riscos de projetos a serem adotados (CANHOLI, 2014).

A partir da década de 90 a ação humana sobre a bacia urbana passou a ser considerada um tema relevante na aplicação de modelos hidrológicos para estimativa de produção de sedimentos e aumento do escoamento superficial (TUCCI, 2002).

O aumento da produção de sedimentos, resultante da retirada da vegetação, acaba em muitos casos é responsável pela obstrução das galerias pluviais, canalizações e a contaminação das águas (GOMES *et al.*, 2015)

Existem dois tipos de ações utilizadas no combate a problemática do alagamento urbano, as medidas estruturais e não estruturais. Sendo consideradas não estruturais atividades que não

envolvam a ação física direta sobre o ambiente, tal como a criação de leis e normas regulamentadoras (CANHOLI, 2014).

A fim de se resolver esse problema social e ambiental é proposto o poço de infiltração como uma medida estrutural para a drenagem de um excedente hídrico que nas vias urbanas promove o alagamento.

Essa pesquisa busca por meio de uma intervenção pontual juntamente ao sistema público de drenagem de águas pluviais, de forma paralela, sem a intenção de substituí-lo, contribuir na resolução de uma problemática regional.

No entanto, a água de escoamento superficial presente na via, destinada aos poços de infiltração podem apresentar muitos contaminantes de origem antrópica. Por esse motivo, necessita passar por um processo de retenção dessa carga poluente através da filtragem, permitindo que o recurso hídrico possa ser restituído de forma segura ao lençol freático.

Elementos Metálicos Presentes no Ambiente Urbano

Segundo Silva (2014) nas águas de drenagem e nos corpos d'água a maior parte dos metais presentes encontra-se complexado com as partículas de menor diâmetro, ou seja, nas mais finas como as argilas. O fato dos metais pesados se agregarem às partículas suspensas e dissolvidas eleva a distribuição dos mesmos sobre a superfície asfáltica e ao longo da bacia hidrográfica.

De acordo com Martinez e Poleto (2011), os metais pesados são parte de nossas atividades cotidianas e muitos deles entram em nosso ambiente urbano como subproduto de atividades econômicas consideradas típicas de cidades em crescimento. Sendo caracterizados na Tabela 1 alguns dos principais metais provenientes da ação antrópica presentes no meio urbano.

Para esta pesquisa, quanto à determinação dos poluentes presentes nas vias urbanas foram selecionados seis elementos metálicos, como Ferro e metais pesados: chumbo, zinco, cádmio, cromo e níquel.

Tabela 2: Exemplo de metais encontrados em ruas urbanas.

Constituinte	Fonte
Chumbo	Escapamento de veículos, pneus, óleo lubrificante, gordura, peças soldadas e tintas
Zinco	Pneus, óleo de motor, gordura e freios. Cobre Galvanizado de metais, uso de pneus, peças de veículos, freios, inseticidas e fiação.
Cádmio	Pneus, escapamento de veículos e inseticidas.
Ferro	Corrosão de veículos, estruturas de aço e partes do motor.
Cromo	Galvanizado de metais, partes do motor e freios.
Níquel	Combustível diesel, óleo lubrificante, galvanizado de metais, freios e pavimento asfáltico.

Fonte: Adaptado de Poleto e Martinez (2011).

Poço de Infiltração

Nas últimas décadas a tendência de adoção de conceitos para o desenvolvimento de soluções de baixo impacto vem sendo estudadas na tentativa de manutenção das condições de equilíbrio do balanço hídrico (REIS e ILHA, 2014).

De acordo com Barbassa et al. (2014) o poço de infiltração é uma técnica compensatória pontual alternativa que têm como função reter a água pluvial escoada.

Vendrame (1998) define o "controle na fonte" de águas superficiais como uma metodologia para controlar o escoamento superficial no meio urbano no seu ponto de origem ou fonte, de forma que a água seja descarregada gradualmente de volta no corpo d'água receptor ou no aquífero simulando processos naturais.

O poço de infiltração surgiu como uma técnica compensatória de microescala, que possui ampla faixa de dimensionamento e características técnicas, que dependem das particularidades locais, tais como regime pluviométrico, características do solo, profundidade do lençol freático e disponibilidade de espaço (BARBASSA et al., 2014).

Filtro de carvão ativado granular

O carvão ativado (C.A) é um material carbonoso poroso, de forma microcristalina, não grafitica, que sofreu um processamento para aumentar sua porosidade interna, sendo tradicionalmente utilizado como adsorvente (BÉGIN *et al.*, 1990). A adsorção pode ser explicada como um fenômeno físico-químico em que o componente em fase líquida ou química é transferido para a superfície de uma fase sólida (MASEL, 1996).

No processo de adsorção física o adsorvato é mantido na superfície do adsorvente por meio de forças de van der Waals podendo ocorrer a formação de camadas com valores aproximados de calor de adsorção, já como um fenômeno químico ocorre através da ligação das moléculas do adsorvato com as da superfície do adsorvente, havendo a troca de elétrons (ARNAUT *et al.*, 2007).

Por suas características específicas o C.A garante um eficiente resultado de adsorção, graças a sua elevada área superficial, estabilidade química, boa resistência mecânica, baixo poder de aglomeração, alto número de sítios ativos, porosidade e seletividade (PENHA, 2009). Dentre outros atributos importantes o material apresenta densidade de 1,3 a 1,5, porosidade 50% e esfericidade de 0,75 (CLEASBY e LOGSDON, 1999).

Esse material possui uma porosidade interna semelhante a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e através dessa propriedade podendo ser classificada como macro, meso e microporosidade. Após o processo de ativação o material de origem aumenta sua área superficial, geralmente entre 10 e 15 m²/g, para valores acima de 800 m²/g (BÉGIN *et al.*, 1990).

A eficiência da adsorção depende principalmente da concentração inicial de adsorvato, pois influencia na interação entre moléculas a serem adsorvidas e os sítios ativos disponíveis na superfície do adsorvente (SALLEH *et al.*, 2011).

Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC (1982), os poros podem ser classificados em função do diâmetro:

- Macroporos: acima de 50 nm;
- Mesoporos: de 2 a 50 nm;
- Microporos secundários: de 0,8 a 2 nm;
- Microporos primários: inferiores a 0,8 nm.

Material e Métodos

Coleta de Água de Escoamento Superficial

Essa pesquisa se divide em procedimentos de coleta de campo, preparação de amostras e análise em laboratório, baseando-se em normas técnicas e instruções de ensaio pré-determinadas. As coletas foram realizadas na rua Marilândia localizada no bairro Jardim Renascer na cidade de Cuiabá, estado de Mato Grosso, em superfície asfáltica próxima a valeta, cuja a via, de acordo com parâmetros de classificação funcional de rodovias do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999) pode ser enquadrada como Coletora Secundária, com tráfego médio de 50 vpd (veículos por dia).

As amostras líquidas foram coletadas durante um período de intensas chuvas no trecho 4 no período de 25/11/2020, 04/12/2020, 06/01/2021, sendo coletadas 10 amostras por dia, ao todo 30 unidades de 300mL.

A água foi colhida próximo a sarjeta através de um tubo de pvc rente à superfície, de diâmetro compatível para o local, facilitando a coleta, possuindo diâmetro de 25mm com fundo tampado via cape e 1m de comprimento, o qual teve posteriormente o conteúdo transferido para um recipiente apropriado de polietileno com tampa, como recomendado por APHA (2015) para esse tipo de contaminação, na preservação da amostra líquida, evitando a sua contaminação externa ou degradação.



Figura 1: Amostras de água coletadas. Fonte: Souza (2020).

Constatou-se o asfalto em processo de deterioração, por falta de manutenção, como uma grande fonte de sedimentos no ambiente. Sendo a recente implantação da rede de abastecimento de água e coleta de esgoto doméstico responsável pelo aumento da produção de resíduos decorrente da obra no local. O ambiente é quase totalmente desprovido de vegetação, sendo a maior parte da superfície impermeabilizada, evidenciando uma rápida ocupação sem planejamento, com exceção do interior de lotes onde na maioria dos casos o solo se apresenta exposto e com pouca ou nenhuma vegetação, geralmente não nativa do bioma de Cerrado.

Como forma de carreamento no local pode ser observado que a ação do vento ocorre de forma intensa e intermitente em alguns dias da semana, durante boa parte do tempo no período da manhã e à tarde.

As chuvas provocam não somente o carreamento de sedimentos, mas também de outros materiais de origem antrópica provocando a obstrução de bueiros. Constatou-se que uma grande quantidade de lixo doméstico é depositada pelos moradores em locais inadequados juntamente com entulho proveniente de construções próximas. As vias de transporte, notadamente as ruas pavimentadas, em muitos pontos denota manchas de óleo, tendo por origem veículos defeituosos.

Detecção de Elementos Metálicos

No estudo de estruturas atômicas e moleculares faz-se uso de radiação eletromagnética através de diferentes técnicas de espectroscopia. Por meio dessas técnicas as alterações sofridas no campo eletromagnético, através do contato com a matéria, podem ser mensuradas com o uso de equipamentos específicos (BORISSEVITCH *et al.*, 2016).

Os métodos espectroscópicos são baseados na quantidade de radiação produzida ou absorvida por moléculas ou átomos de interesse, sendo estes, podendo ser classificados de acordo com a região

medida do espectro eletromagnético, o que incluem os raios gama, raios X, ultravioleta (UV), visível, infravermelho, micro-ondas e radiofrequência (RF) (SKOOG *et al.*, 2005).

A espectrometria é a técnica espectroscópica utilizada para avaliar a concentração ou quantidade de uma dada substância, sendo essas medições realizadas por instrumentos espectroscópicos ou espectrofotômetros (BORISSEVITCH *et al.*, 2016).

Os principais elementos constituintes de um espectrofotômetro são: fonte de luz, o colimador, responsável por direcionar os feixes de radiação, o prisma, que tem a função de fracionar a luz nos comprimentos de onda que a compõem (luzes monocromáticas), a fenda seletora ou monocromador, que permite selecionar uma estreita faixa de comprimento de onda da fonte de irradiação, a cubeta, um recipiente porta-amostras com boa transmitância, o detector, que consiste em uma célula fotovoltaica e o leitor ou microcomputador onde as informações serão analisadas (KASVI, 2018; BORISSEVITCH *et al.*, 2016).

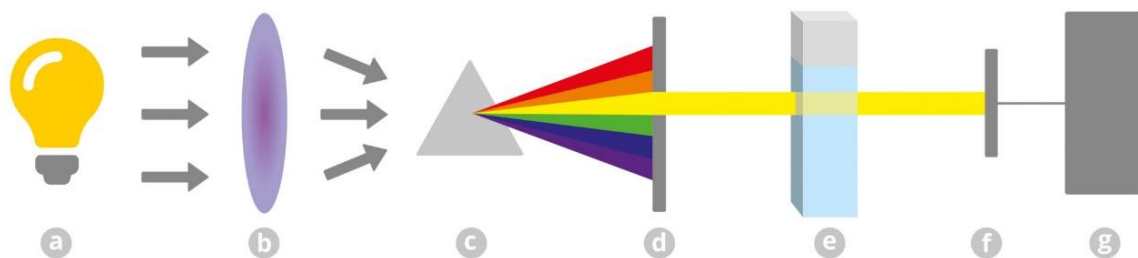
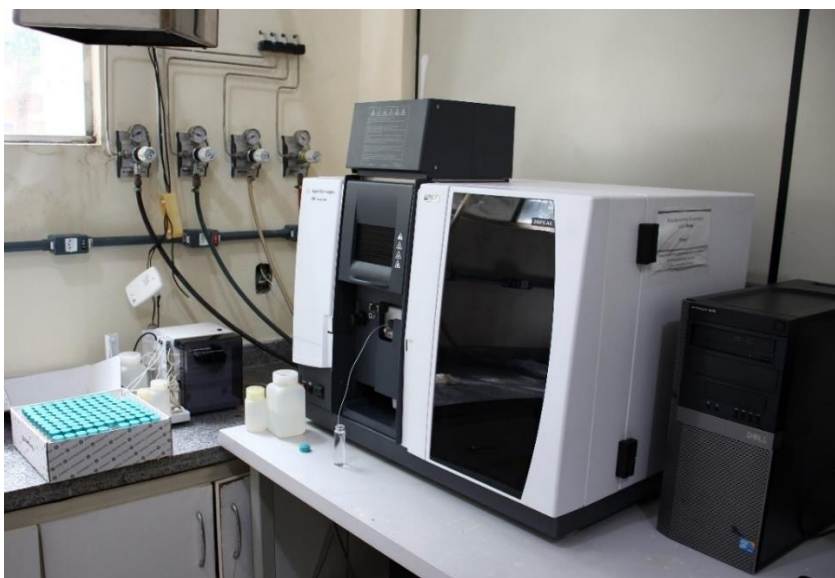


Figura 2: Componentes do espectrofotômetro: (a) fonte de luz, (b) colimador, (c) prisma ou rede de difração, (d) fenda seletora (e) cubeta contendo solução, (f) detector, (g) leitor. Fonte: kasvi (2018).

Para essa pesquisa foi utilizado o equipamento Espectrofotômetro modelo AA 240 FS (F-AAS), que através do processo de absorção atômica em chama, com o princípio de absorção da radiação ultravioleta por parte dos elétrons determinou a concentração dos metais Pb, Zn, Cd, Fe, Cr e Ni presentes em amostras colhidas no ambiente de interesse, vias urbanas. Empregando-se também equipamentos complementares como balança eletrônica de precisão, pipetas milimetradas e frascos como: tubos Falcon e vials de borossilicato com batoque de teflon.



**Figura 3: Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo AA 240 FS.
Fonte: Lázaro (2021).**

De acordo com Skoog e Timothy (2002) o princípio do método de absorção atômica se baseia na atomização do elemento analisado através da chama para aumentar o seu estado de excitação, a lâmpada de cátodo oco utilizada emite um espectro que interage com a amostra, os átomos desse elemento absorvem a energia característica, que é medida e convertida em sinal elétrico permitindo a gravação dessa informação no software do computador para análise. Os métodos analíticos baseados em absorção atômica são altamente específicos pois as linhas de absorção atômica são muito estreitas (0,002 a 0,005 nm) e as energias de transição são únicas para cada elemento.

O método sensível permite determinar quantitativamente e classificar mais de 60 metais ou metaloides. Para muitos elementos o limite de detecção está na faixa de 1 a 20ng/mL ou 0,001 a 0,020 ppm. (SKOOG e TIMOTHY, 2002). Os mesmos autores ainda descrevem a reação na amostra contendo o metal durante o processo de absorção atômica, em que a mesma é nebulizada por um fluxo de oxidante gasoso, misturada com um combustível e levada a chama onde ocorre a atomização, sendo o ar atuante como oxidante podendo atingir temperaturas superiores a 1700 °C. O solvente evapora produzindo um aerossol de partículas sólidas muito pequenas que são em sua maior parte desassociadas resultando em um gás atômico que imediatamente se ioniza gerando cátions e elétrons, podendo também produzir átomos e moléculas, esse conjunto é excitado pelas chamas originando espectros de emissão atômico, iônico e molecular.

Preparação de Amostras

Na preparação de amostra, descrita de acordo com Skoog *et al.* (2002), é necessária que a mesma seja introduzida na fonte de excitação do espectrômetro na forma de solução aquosa, uma vez que muitos materiais como derivados do petróleo e minerais não são solúveis diretamente em solventes comuns, sendo portanto, necessário um tratamento preliminar para obtenção do soluto pronto para ser atomizado.

O aparelho faz a leitura dos metais que estejam livres em soluções aquosas. Para tal, o sedimento passa por um processo de “abertura” no qual o sedimento sofre um ataque ácido, para que os metais complexados às partículas sejam liberados e dissolvidos na solução. (SILVA, 2014).

Para a determinação das concentrações dos metais na água e sedimentos presentes, as amostras aquosas passaram por filtragem em filtros de seringa Milipore® de 0,1 micra. Amostras em branco de 100 filtros limpos foram tomadas como valor de referência, mas todas abaixo do limite de detecção dos metais em estudo. Após a filtragem, as amostras líquidas foram lidas diretamente no F-AAS, em triplicata, sendo o resultado expresso em $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Os conteúdos líquidos necessitaram sofrer de um processo de abertura conforme método 3030E (APHA, 2015). O filtrado da água foi digerido em 30ml de ácido clorídrico ultra puro por 24h para dissolução do material sólido. Quando necessário, 1 ml de sulfato de acrilamida foi adicionada a mistura para seu clareamento antes da entrada nas chamas. Uma vez prontas, as amostras foram passadas em triplicata no F-AAS e os valores de concentração foram expressos em $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o filtrado e $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ de peso seco (P.S.) para os sedimentos

A precisão e exatidão da metodologia foram testadas por meio do emprego de amostras de 2 ppb preparadas da solução padrão comercial. Ainda, fortificadas com quantidades conhecidas do analito (em inglês “spikes”) em 1 ppb, adicionadas as réplicas de cada amostra para a eliminação de interferências introduzidas pela matriz de amostras complexas e comparar os valores amostrais obtidos com o esperado (recuperação) a partir da curva de calibração.

Os limites de detecção do equipamento foram calculados com base na fórmula: $LD = (2 \times 3 \times S) / S$, sendo LD o limite de detecção, S o valor médio de concentração da solução padrão e A o valor médio da absorbância.

Avaliação de Isotermas de Adsorção

Com o uso do F-AAS foram geradas curvas de calibração para adsorção dos metais de interesse através dos ensaios realizados com dosagens previamente estabelecidas e o material adsorvente

(C.A), juntamente as soluções padrões certificadas para esse equipamento, fornecidas pelo Instituto Nacional para Ciência e Tecnologia dos Estados Unidos da América (NIST-USA).

Para geração das curvas foram preparados padrões de 10, 5, 1, 0,5 ppb da solução certificada com concentração de 1.000 mg/g. Os padrões foram passados no equipamento e as curvas geradas com os resultados mensurados dos diferentes padrões.

A Resolução CONAMA nº 396 de 2008 foi utilizada como base para um comparativo dos valores de concentrações de metais presentes nas amostras com os parâmetros aceitáveis para filtragem, adotando valores limites de uso, considerando as exigências de qualidade de água para cada classes como, consumo humano, irrigação, dessedentação animal e lazer.

A Resolução CONAMA nº 430 de 2011 estabelece que, o lançamento de efluente no solo, mesmo que tratado não deve causar poluição ou contaminação das águas superficiais ou subterrâneas, de modo a não conferir características de qualidade em desacordo com as metas progressivas, intermediárias e final de seu enquadramento.

Resultados e Discussão

No procedimento experimental para avaliar o comportamento da adsorção do C.A granular comercial do tipo (mesh) 3x6, o mesmo foi colocado em contato com dosagens periódicas dos metais de interesse em concentrações pré-determinadas, com análise das variações ocorridas. O tempo de contato do C.A com cada elemento foi inferior a 1 hora, mas para uma maior confiabilidade as amostras foram mantidas por 24 horas, não havendo mudanças significativas com relação aos resultados previamente observados. Esse equilíbrio corresponde a concentração na fase fluída e a concentração nas partículas adsorventes em uma determinada temperatura (PERRY, 1998).

Para a análise desses resultados desenvolveram-se as isotermas de Langmuir (L) e Freundlich (F) as quais por meios gráficos permitiram a obtenção de informações sobre o comportamento de adsorção de diferentes concentrações dos metais pesados. Os experimentos se deram com os elementos Pb e Cd, com Zn não podendo ser averiguado por limitações do laboratório utilizado, e não sendo realizadas para Cd e Ni por não serem apresentando dados expressivos ou suficientes no ambiente de coleta de amostras para um resultado consistente (Tabela 2, com ND sendo sinônimo de “não detectado”, ou abaixo do limite de detecção). Os valores de Fe encontrados na água de escoamento podem corresponder ao carreamento do próprio solo do local, não possuindo necessariamente origem antrópica ou podendo aferir contaminação do ambiente devido as baixas concentrações observadas.

Tabela 2: Concentração de elementos metálicos em água de escoamento superficial em via urbana.

Identificação	Data de coleta	Concentração total de metais ($\mu\text{g/L}$ ou ppb)					
		Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Fe
A1	25/11/2020	2,15992	0,877095	0,159718	ND	ND	1,589084
A2	25/11/2020	2,137309	1,047708	0,189036	ND	ND	1,482075
A3	25/11/2020	1,848892	0,941976	0,165407	ND	ND	1,386669
A4	25/11/2020	2,505507	0,778505	0,140464	ND	ND	1,771752
A5	25/11/2020	2,051924	0,427311	0,073076	ND	ND	1,434804
A6	25/11/2020	2,143431	0,730512	0,126024	ND	0,111867	1,679554
A7	25/11/2020	1,772862	0,933944	0,159718	ND	0,1409	1,221305
A8	25/11/2020	0,403819	0,857003	0,151841	ND	0,12765	0,294514
A9	25/11/2020	2,054121	0,055781	ND	ND	ND	1,394963
A10	25/11/2020	2,416346	0,653483	0,116835	ND	0,1109	1,653289
B1	04/12/2020	1,364529	0,621073	0,106212	ND	ND	0,995183
B2	04/12/2020	1,410936	0,728686	0,101512	ND	ND	2,653285
B3	04/12/2020	1,220731	0,643193	0,088823	ND	ND	0,887006
B4	04/12/2020	1,594755	0,531955	0,075429	ND	ND	1,178215
B5	04/12/2020	1,385049	0,269336	ND	ND	ND	0,995183
B6	04/12/2020	1,436018	0,460223	ND	ND	ND	1,010532
B7	04/12/2020	1,178953	0,583268	0,085769	ND	ND	0,812168
B8	04/12/2020	0,280654	0,482392	0,081539	ND	ND	0,151432
B9	04/12/2020	1,36599	0,032555	ND	ND	ND	1,185331
B10	04/12/2020	1,655197	0,38805	0,06274	ND	ND	1,147764
C1	06/01/2021	0,92788	0,343567	ND	ND	ND	0,672599
C2	06/01/2021	0,95207	0,406632	ND	ND	ND	0,669209
C3	06/01/2021	0,800105	0,34945	ND	ND	ND	0,601539
C4	06/01/2021	1,052598	0,294057	ND	ND	ND	0,799341
C5	06/01/2021	0,921057	0,161404	ND	ND	ND	0,620861
C6	06/01/2021	0,990321	0,266247	ND	ND	ND	1,176006
C7	06/01/2021	0,784004	0,343567	ND	ND	ND	0,574936
C8	06/01/2021	0,181264	0,286453	ND	ND	ND	0,100702
C9	06/01/2021	0,915163	0,002477	ND	ND	ND	1,621872
C10	06/01/2021	1,124809	0,208913	ND	ND	ND	1,93851

Fonte: Souza (2021).

A isoterma L pelo método linear para o elemento Pb pode ser observada em sua forma gráfica (figura 4) como uma reta que parte da origem, correspondendo a linha de tendência dos resultados obtidos em laboratório, indicando que a quantidade adsorvida pelo C.A é proporcional a

concentração da solução, sendo C_e/q_e (g L^{-1}) a massa de adsorvente (C.A) por litro de solução (água mais Pb), não evidenciando sua máxima capacidade de adsorção.

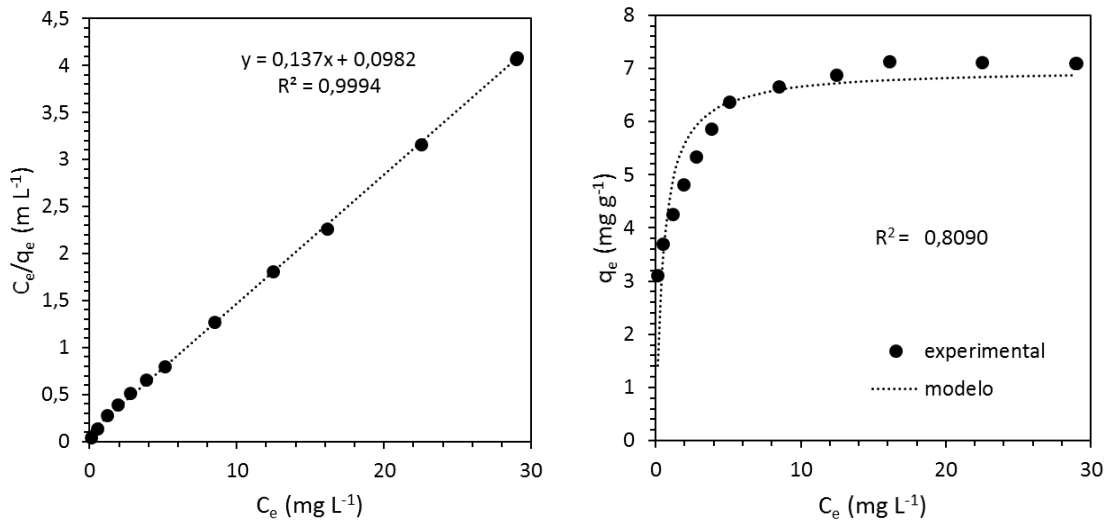


Figura 4: Isotherma de Langmuir linear (Esquerda) e não linear (direita) para adsorção de Pb por carvão ativado. Fonte: Lázaro (2021).

Pelo método não linear da equação L foi obtido o valor máximo de soluto (Pb) retida por C.A (figura 4), $6,98 \text{ mg. g}^{-1}$, tendo início em $1,41 \text{ mg. g}^{-1}$, com o gráfico indicando a linha de tendência no formato côncavo o que significa um processo de adsorção extremamente favorável que atinge o equilíbrio próximo dos $6,77 \text{ mg. g}^{-1}$ e máxima adsorção de $6,98 \text{ mg. g}^{-1}$.

Através da isoterma F pelo método linear para Pb obteve-se uma representação gráfica (figura 5) por meio de logaritmos naturais (\ln) com uma linha de tendência crescente linearizada, não sendo possível definir o valor máximo de adsorção, que se estende infinitamente de modo que a adsorção de C.A aumenta quanto maior for a concentração de Pb (C_e). O valor aproximado de adsorção nesse caso tem início a partir de $1,46 \text{ mg. g}^{-1}$.

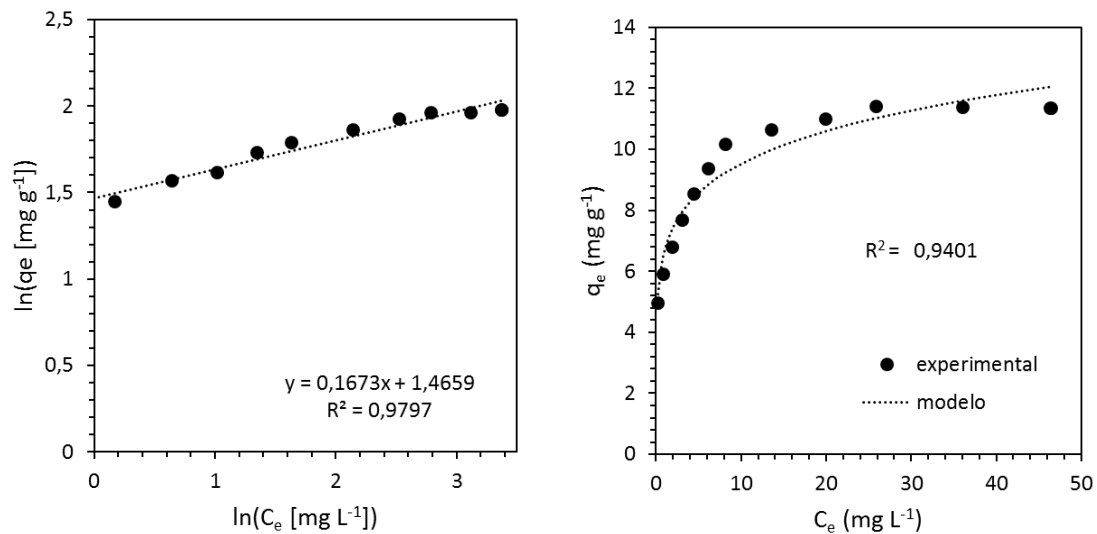


Figura 5: Isotherma de Freundlich linear (esquerda) e não linear (direita) para adsorção de Pb por carvão ativado. Fonte: Lázaro (2021).

Para a isoterma F pelo método não linear a adsorção de Pb (figura 5) obteve uma linha de tendência com início aproximado em $5,25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ de formato côncavo e ascendente indicando uma situação favorável de adsorção. Apresentando uma linha de tendência que começa a se estabilizar por volta de $11,20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, com um valor máximo de adsorção acima de $12,05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$.

Através da isoterma L linear para Cd é possível obter graficamente (figura 6) uma linha de tendência que parte próximo ao ponto de origem no valor de $0,013 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, com capacidade de adsorção de C.A proporcional a concentração do elemento no fluido, não sendo possível determinar o seu valor máximo.

A isoterma L não linear para adsorção de Cd por C.A (figura 6) apresenta uma linha de tendência côncava, indicando um processo considerado favorável com valor inicial de $1,80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ e máximo de $27,65 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, esse último possuindo uma concentração muito elevada se comparada a outras isotermas L de Pb.

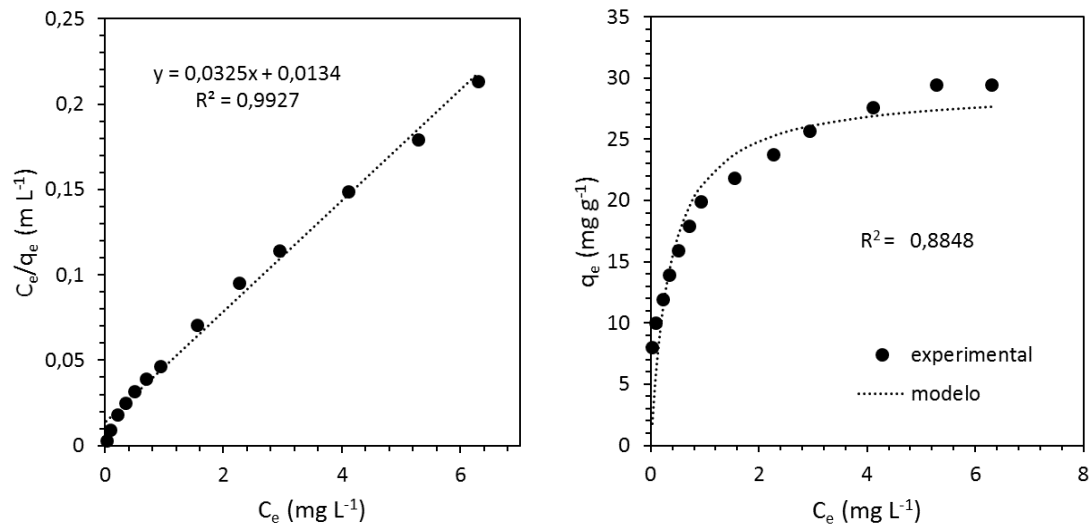


Figura 6: Isotherma de Langmuir linear (esquerda) e não-linear (direita) para adsorção de Cd por carvão ativado.
Fonte: Lázaro (2021).

A adsorção de Cd por C.A pode ser expressa graficamente (figura 7) através da isoterma F linear com uma linha de tendência crescente linearizada por meio de uma operação com logaritmos naturais (\ln), demonstrando um comportamento de adsorção proporcional a concentração do elemento, com valor mínimo aproximado de $3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ e máximo $3,38 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$.

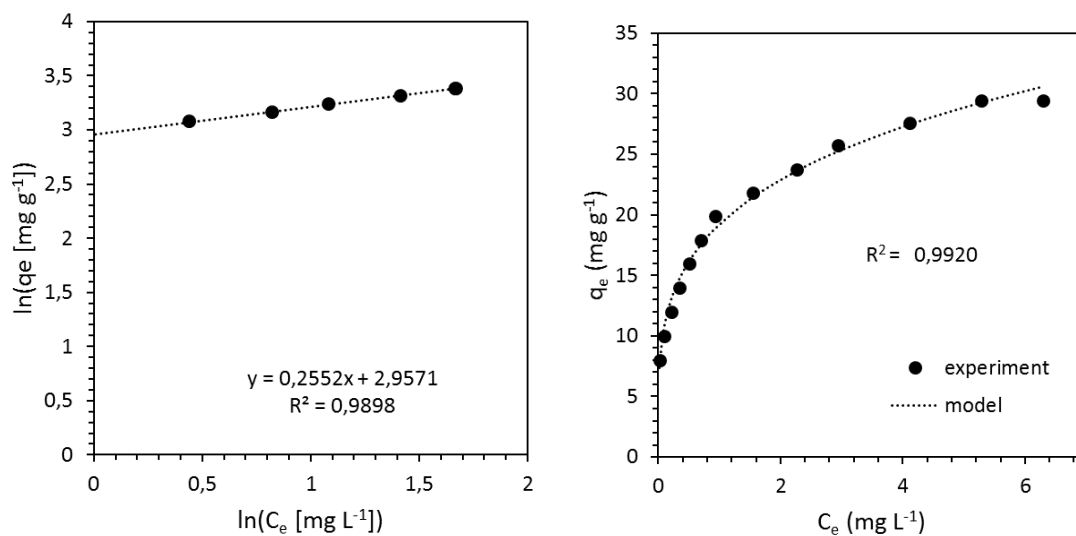


Figura 7: Isotherma de Freundlich linear (esquerda) e não-linear (direita) para adsorção de Cd por carvão ativado.
Fonte: Lázaro (2021).

Através da Isoterma F não-linear para adsorção de Cd por C.A pode-se observar graficamente (figura 7) uma curva que indica uma adsorção favorável do material para a concentração do elemento em solução, com valor mínimo aproximado de $7,40 \text{ mg. g}^{-1}$ e máximo de $30,58 \text{ mg. g}^{-1}$.

Nos ensaios de adsorção de Pb por C.A o modelo de Freundlich apresentou uma maior adequação nos resultados obtidos, possuindo em média valores maiores de R^2 , como 0,9797 e 0,9401, indicando uma baixa diferença entre os dados gerados pelo modelo e os experimentais. Para esse elemento o material possui capacidade adsorptiva máxima de $12,05 \text{ mg. L}^{-1}$, o que demonstra uma capacidade em uma escala de grandeza acima da possível carga solicitante, de acordo com o observado nos dados amostrais.

Para a adsorção do elemento Cd o modelo de Freundlich apresenta maior confiabilidade, possuindo em média valores maiores de R^2 , como 0,9898 e 0,9920. Embora não sendo demonstrado de forma significativa, na via urbana observada, através dos resultados amostrais o C.A apresentou uma alta capacidade de adsorção de Cd, com valores aproximados entre $7,40$ e $30,58 \text{ mg. g}^{-1}$, muito acima do esperado, o que representa da mesma forma que o observado para Pb, resultados promissores com capacidade de adsorção medida com uma escala de grandeza acima da possível carga solicitante, atendendo as resoluções já mencionadas.

Comentários finais

O sistema de filtro de carvão ativado granular proposto é um aprimoramento para o poço de infiltração, esse sistema drenante para o ambiente urbano pode chegar a população de forma prática como uma ferramenta alternativa aplicada aos instrumentos de gestão de recursos hídricos, com sua implementação ocorrendo, por exemplo, através de órgãos de saneamento básico com regularização por órgãos ambientais estaduais, o que exigiria um estudo baseado na classe de enquadramento de águas subterrâneas e a diluição de efluente permitida para o local de interesse, pareada a resolução nº 396 de 2008, dentre outras, sem que esse lançamento provoque degradação na qualidade da água do ambiente.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfªÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento e a UNEMAT por todo suporte técnico científico e financeiro prestado.

Referências Bibliográficas

APHA-Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association, Washington, 23th Ed., 2015.

ARNAUT, L.; FORMOSINHO, S.; BURROWS, H. Chemical Kinetics: From Molecular Structure to Chemical Reactivity. 1a. ed. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 562.

BÉGIN, D.; GÉRARD, A. A.; BRONIEK, E., SIEMIENIEWSKA, G. F.; MARÊCHÉ, J. F.; Pore Structure and Reactivity of Chars obtained by Pyrolysis of Coking Coals. Fuel 78, p.1195, 1999. p. 285, 1990.

BORISSEVITCH, Iouri E.; GONÇALVES, P.J.; SCHABERLE, F.A. Fundamentos da espectroscopia de absorção óptica (Série tópicos de física aplicada a medicina e biologia). São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 357 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

_____. CONAMA. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008 Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68

_____. CONAMA. Resolução nº 430 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa a Resolução CONAMA nº 357 de 2005.

_____. CNRH. Resolução nº 15 de janeiro de 2001.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CLEASBY, J. L.; LOGSDON, G. S. Granular bed and precoat filtration . In: AWWA. Water Quality and Treatment, 5. ed. Denver, USA: AWWA, 1999.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. Introduzindo Hidrologia. Porto Alegre: UFRGS, v. 5, 2008.

FERREIRA, T. S.; BARBASSA, A. P.; MORUZZI, R. Br. Controle de enchentes no lote por poço de infiltração de água pluvial sob nova concepção. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 23, n. 3, p. 437-446, Junho 2018 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000300437&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 22 mar. 2021.

KASVI. Espectrofotometria: Análise da concentração de soluções (16 fev. 2018). Disponível em: <<https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes/>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

MASEL, R. Principles of Adsorption and Reaction on solid Surfaces. Wiley Series in Chemical Engineering. 1 Ed. 1996.

POLETO, C.; MARTINEZ, L. L. G. Sedimentos urbanos: ambiente e água. Holos Enviroments, v. 11 n.1, 2011.

PERRY, J. Manual del Ingeniero Químico, Capítulo 16, Mc Graw Hill, 6 Ed, 1998.

SALLEH, M. A. M.; MAHMOUD, D. K.; KARIM, W. A. W. A.; IDRIS, A. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. Desalination, Amsterdam, v. 280, n. 1-3, p. 1-13, 2011.

SKOOG, D. A; HOLLER, F. J; TIMOTHY, A. Princípios de Análise Instrumental. 5 ed. Porto Alegre: Bookmam, 2002.

SKOOG, D. A; WEST, D; HOLLER, F. J; CROUCH, S. Fundamentos de Química Analítica. Ed. 8. Editora Thomson, 2005.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79-90, abr./jun. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

SILVA, E.P. Acúmulo e carreamento de metais pesados e sólidos em superfícies asfálticas. Dissertação de mestrado UFG-GO, 2014.

TUCCI, Carlos E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 7, n.1, p. 5-27, jan/mar. 2002.

____ Drenagem Urbana. Cienc. Cult., São Paulo, v.55, n.4, oct./dec. 2003.

VENDRAME, IF. Considerações sobre o emprego de poços de infiltração. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 1998.

6^o SSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

- PARTE III -

Técnicas e Estudos de Recuperação de Áreas
Degradadas

O USO DE BACTÉRIAS PARA BIORREMEDIAÇÃO DE AMBIENTES CONTAMINADOS COM TOLUENO: UMA ANÁLISE MOLECULAR POR DOCKING

| ID 18604 |

1Eduarda Medran Rangel, 2Estela Fernandes e Silva, 3Karine Laste Macagnan, 4Louise Vargas Ribeiro, 5Tainã Figueiredo Cardoso, 6Daiana Kaster Garcez

1 Prefeitura Municipal de Rio Grande - SMED, e-mail: eduardamrangel@gmail.com; 2 Prefeitura Municipal de Rio Grande - SMED, e-mail: estela.fernandes.e.silva1234@gmail.com; 3 Prefeitura Municipal de Rio Grande - SMED, e-mail: karinemacagnan@hotmail.com; 4 Universidade Federal de Pelotas, e-mail: louiseribeiro@hotmail.com; 5 Embrapa Pecuária Sudeste, e-mail: tainafcardoso@gmail.com; 6 Universidade Federal do Rio Grande, e-mail: daiana_kg@hotmail.com

Palavras-chave: BTXs; proteínas; combustíveis.

Resumo

As bactérias podem ser seres vivos úteis para processos de descontaminação ambiental através de processos de biorremediação. Dentre os contaminantes ambientais, o tolueno é um dos compostos da gasolina e pode ser tóxico no ambiente aquático, causando danos significativos aos organismos deste ecossistema. A compreensão detalhada sobre as principais proteínas e processos envolvidos em rotas celulares de biorremediação é pouco explorada, o que encoraja os estudos na área para uma otimização desses processos. Sabe-se que o sistema transportador ABC está envolvido no transporte de uma ampla variedade de compostos inorgânicos e de moléculas orgânicas mais complexas. O *docking* molecular (DM) é uma metodologia *in silico* na qual unem-se duas moléculas (receptor *versus* ligante) e verifica-se características químicas dessa ligação. Desse modo, o objetivo desse estudo foi o de avaliar, através da ferramenta de *docking* molecular, a interação entre o tolueno e transportadores ABC das espécies bacterianas de *Staphylococcus aureus* e *Thermotoga maritima*, possibilitando identificar espécies promissoras para a biorremediação do tolueno. Para o DM utilizou-se os *softwares* UCFS Chimera (para eliminação de heteroátomos e produção das imagens em 3D), *AutoDock Tools* (para preparação das proteínas e do tolueno para o *docking*), *AutoDock Vina* (para o *docking per se*) e *LigPlot +* (para verificação de aminoácidos e tipos de ligação entre moléculas). A energia de ligação entre os transportadores ABC e o tolueno foi semelhante para ambas as espécies, sendo *S. aureus* -5.2 Kcal/mol e *T. maritima* -5.5 Kcal/mol. O número de aminoácidos do transportador que se ligaram ao tolueno foi diferente para as duas espécies: *S. aureus* uniu-se através

de 03 aminoácidos, enquanto *T. maritima* uniu-se através de 07 aminoácidos. Os resultados apresentados nesse estudo demonstram que ambas as espécies avaliadas são promissoras para estudo *in vitro* e *in vivo* para biorremediação do tolueno.

Introdução

A poluição e contaminação ambiental tem crescido de forma exponencial nos últimos anos. Dentre os contaminantes ambientais, a gasolina é um poluente representativo para o solo e possui em sua composição uma mistura que inclui uma variedade de compostos BTXs (benzeno, tolueno, xileno) (AN; LEE, 2008). Sams et al. (2004) relatam que os BTXs podem causar contaminações graves nas águas subterrâneas por derramamentos envolvendo a liberação de produtos derivados do petróleo, como gasolina, óleo diesel e óleo lubrificante e de aquecimento de tanques de óleo com vazamento. Os autores ainda afirmam que a presença dos BTXs na água pode causar danos ao meio ambiente e à saúde pública, mesmo em baixas concentrações. Dados alarmantes indicam que cerca de 5,74 milhões de toneladas de petróleo e derivados foram derramados em ecossistemas marinhos entre 1970 e 2013 (ITOPF, 2009).

Dentre os BTXs, o tolueno – também conhecido como metil benzeno, é um homólogo do benzeno, insolúvel em água, tóxico no ambiente aquático, que pode causar danos significativos aos organismos deste ecossistema, afetando no crescimento, desenvolvimento e reprodução (XU et al., 2020). Li et al. (2021), exploraram a ototoxicidade do tolueno no desenvolvimento inicial de embriões/larvas de peixe-zebra e constataram que o tolueno pode afetar o desenvolvimento do ouvido interno e dos sistemas da linha lateral no peixe-zebra, ao ponto que o sistema da linha lateral pode ser mais sensível ao tolueno do que o ouvido interno. Devido à sua presença em vários materiais, o tolueno deve ser monitorado e remediado.

Uma alternativa para o controle desse composto seria a biorremediação, que é um processo em que organismos vivos - normalmente plantas, micro-organismos ou suas enzimas, são utilizados tecnologicamente para remover (remediar) ou reduzir poluentes no ambiente. Nas últimas duas décadas, a biorremediação tem recebido maior atenção como um método alternativo para remover ou reduzir a contaminação por tolueno no ecossistema (OYETIBO et al., 2017). As bactérias são organismos-chave para a biorremediação devido à sua taxa de crescimento rápida, capacidade de se adaptar rapidamente às condições ambientais e requisitos simples de crescimento (FIELD; SIERRA, 2008; PARSEK; MCFALL; CHAKRABARTY, 1995). O primeiro bioensaio para monitoramento de toxicidade foi desenvolvido usando a bactéria luminescente *Vibrio fischeri* na década de 1970 (CLÉMENT; CADIER, 1998). A biodegradação de tolueno pelo consórcio microbiano com

Pseudomonas sp., *Escherichia coli* e *Bacillus* sp. já foi relatado (RAJAMANICKAM et al., 2017). Alguns outros exemplos de bactérias que degradam o tolueno isoladas são: *Pseudomonas aeruginosa* AT18, *Acinetobacter genospecies* Tol 5, *Bacterium* Ex-DG74, *Magnetospirillum* sp. 15-1, *Bacillus cereus* THH39, *Burkholderia* sp. JS150, e *Thauera* sp. DNT-1 (AFROUZOSSADAT et al., 2013; HEYDARNEZHAD et al., 2018; JOHNSON; OLSEN 1997; KIM; JEON, 2009; MEYER et al., 2017; PEREZ et al., 2006; SHINODA et al., 2004).

Alguns dos mecanismos envolvidos nos processos de biorremediação são bastante conhecidos, ocorrendo através, por exemplo, de vias como a *alk* (c5 a c12 n-alcanos), *nah* (naftaleno; PAHs) (WHYTE et al., 1997) e *xyl* (tolueno; hidrocarbonetos aromáticos) (NAKAI et al., 1983). Apesar disso, um detalhamento acerca de quais proteínas estariam envolvidas nessas vias permanece escasso, sendo necessário determinar de modo mais detalhado a identidade dessas proteínas, bem como a interação entre essas e a ativação de seus genes frente a condições de poluição (GILBERT, 2001).

No que se refere à biorremediação, sabe-se que o sistema transportador ABC está envolvido no transporte de uma ampla variedade de compostos de molibdênio, níquel, arsênio e moléculas orgânicas mais complexas (BEHERA et al., 2020). Em um estudo avaliou-se a presença de uma comunidade microbiana com potencial de biorremediação em amostras de sedimentos do Rio Ganga e Yamuna (Índia). Através de análises funcionais encontrou-se um imenso número de domínios proteicos relacionados à biorremediação no metagenoma das amostras do rio, dentre eles, o transportador ABC (BEHERA et al., 2020). Esse mecanismo também foi relatado na degradação de lignina alcalina pelo *Bacillus ligniniphilus*, e através da comparação de dados proteômicos e análise metabólica mostraram a regulação positiva do sistema transportador ABC (ZHU et al., 2017).

Métodos *in silico* estão sendo utilizados antes da biodegradação real de xenobióticos tóxicos para encontrar culturas viáveis para aplicação real (KHAN; SAJID; CAMEOTRA, 2013). Isso pode ajudar a diminuir o tempo e o dinheiro gastos na triagem inicial e na identificação de cepas ambientalmente viáveis. Alguns estudos têm aplicado com sucesso técnicas *in silico* envolvendo *docking* para identificar e estudar compostos/enzimas e resíduos de aminoácidos envolvidos na biodegradação (LIU et al., 2018; SRINIVASAN et al., 2019). Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar, através da ferramenta de *docking* molecular, a interação entre o tolueno e transportadores ABC das espécies bacterianas de *Staphylococcus aureus* e *Thermotoga maritima*, possibilitando identificar espécies promissoras para a biorremediação do tolueno.

Materiais e métodos

Primeiramente, selecionou-se as proteínas no Protein DataBank (PDB), pela pesquisa do termo “ABC transporter” para refinamento de busca. Foram encontrados a estrutura não-mutada deste transportador para dois organismos: *Staphylococcus aureus* (PDB ID: 2HYD) e *Thermotoga maritima* (PDB ID: 3QF4) (BERMAN et al., 2000). Enquanto que a estrutura química do tolueno foi obtida no banco de dados PubChem (PubChem ID: 1140) (BOLTON et al., 2008). Através do *software* UCSF ChimeraX (GODDARD et al., 2018) removeu-se heteroátomos das proteínas e com o *AutoDock Tools* preparou-se as proteínas (retirando-se a informação das moléculas de água, adicionando-se hidrogênios polares e cargas de Kollman) e o ligante tolueno (atualização de cargas de Gasteiger e de TORSDOF). As análises de *docking* molecular foram realizadas pelo AutoDock Vina (TROTT; OLSON, 2010). Procedeu-se um “*blind docking*”, que consiste em realizar a cobertura de toda a proteína e aumentar o parâmetro *exhaustiveness*. Para a realização das simulações de *docking*, foram utilizadas as configurações presentes na Tabela 1. Para conversão em formato PDB utilizou-se o PyMol (SCHRÖDINGER, 2015) e para a análise de ligação em resíduos específicos o LigPlot + (WALLACE; LASKOWSKI; THORNTON, 1995).

Tabela 1: Resumo dos parâmetros de *docking* no Auto Dock Vina

PDB ID	Tamanho da caixa de grade	Coordenadas do centro da caixa de grade	<i>Exhaustiveness</i>
2HYD	x: 98; y: 60; z: 112	x: 116.899; y: 67.679; z: 142.384	500
3QF4	x: 118; y: 62; z: 82	x: -53.901; y: 5.998; z: 35.316	500

Resultados e Discussão

A bioinformática oferece um modo rápido e robusto de triagem do alvo para biorremediação. Nesse sentido, a ferramenta de *docking* molecular fornece uma visão para a triagem da suscetibilidade de degradação do poluente por enzimas já caracterizadas. Embora os estudos de *docking* sejam amplamente utilizados para a descoberta de medicamentos, seu uso na previsão de alvos para biorremediação proporcionará um novo impacto (SRIDHAR et al., 2013).

Neste trabalho, o *docking* molecular entre transportadores ABC de bactérias com o tolueno foi realizado considerando as interações do local ativo. Os resultados foram examinados com base nas energias de ligação, locais de ligação e resíduos de aminoácidos. As espécies de bactérias

apresentaram energia livre de ligação (FEB) entre a proteína e o ligante semelhantes (Tabela 2) e < 5,2 Kcal/mol, o que pode indicar uma capacidade semelhante de biorremediação do tolueno através de vias que envolvam a proteína ABC. Uma afinidade FEB < 0 indica que um ligante e seu receptor podem se ligar espontaneamente, e quanto menor o valor, mais forte é a capacidade de ligação (DU et al., 2016).

Tabela 2: Energia livre de ligação e aminoácidos envolvidos na interação dos transportadores ABC de duas bactérias com o tolueno

Espécie	PDB ID	Energia livre de ligação (FEB) no transportador ABC	Aminoácidos envolvidos
<i>Staphylococcus aureus</i>	2HYD	-5.2 Kcal/mol	3: Lys 477 (cadeia B); Tyr 349 e 391 (cadeia A)
<i>Thermotoga maritima</i>	3QF4	-5.5 Kcal/mol	7: Phe 218 (cadeia A); Ile 141 (cadeia B); Phe 117 (cadeia B); Leu 116 e 120 (cadeia B); Val 195 (cadeia A) e 140 (cadeia B);

A proteína ABC pode ser um importante alvo, pois é um transportador que deve ser determinante para a entrada do tolueno nas células bacterianas para dar início à biorremediação (ORELLE et al., 2019). A espécie *T. maritima* apresentou FEB ligeiramente melhor que *S. aureus*. Além disso, *T. maritima* também foi a bactéria que teve o maior número de resíduos de aminoácidos envolvidos na ligação (Tabela 1). Em ambas as bactérias o tolueno localizou-se próximo da região transmembrana (Figura 1).

Apesar dos transportadores ABC das membranas plasmáticas de Archaea, Gram-negativas e Gram-positivas serem amplamente diferentes em sua organização e composição (GOFFEAU; HERTOIGH, 2013), essas diferenças estruturais foram mínimas para a estabilidade de ligação entre o transportador ABC e o tolueno, uma vez que *S. aureus* (bactéria gram-positiva) e a *T. maritima* (gram-negativa) apresentaram pouca diferença entre as FEB.

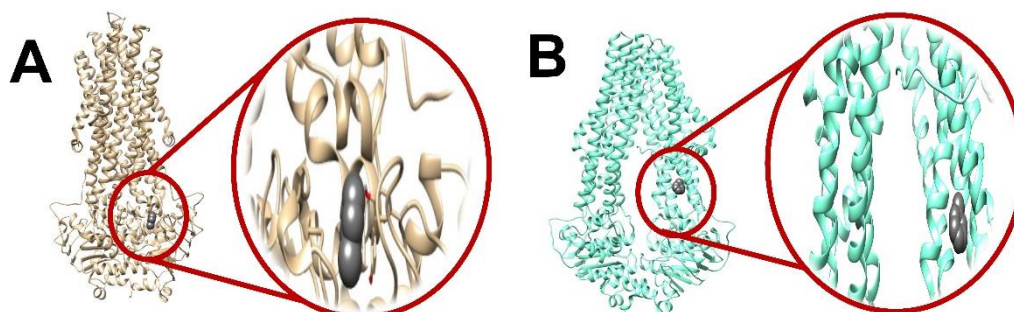


Figura 1: Transportador ABC de duas espécies diferentes de bactérias com o tolueno. A: Transportador ABC de *S. aureus* na cor estanho e tolueno em cinza escuro; B: Transportador ABC de *T. maritima* na cor água marinha e tolueno em cinza escuro.

Os *Staphylococcus* são cocos Gram e catalase-positivos, na qual as cepas *S. aureus* crescem em meios comuns, caldo ou ágar simples, pH = 7, à temperatura ótima de 37°C. A distribuição de *S. aureus* é muito ampla, visto que essa bactéria é significativamente capaz de resistir à dessecação e ao frio (SANTOS et al., 2007). Apesar de ser um patógeno bacteriano humano que causa uma grande variedade de manifestações clínicas (TONG et al., 2015), a utilização de *S. aureus* (cepa K1) na biorremediação já foi relatada. Zou et al. (2014) analisou locais contaminados com metal e relatou a capacidade de *S. aureus* em resistir e reduzir o cromo (VI) a cromo (III) e adsorver urânio (VI). Tariq et al. (2019) confirmaram através de análises bioquímicas e filogenéticas que a cepa K1 de bactéria *S. aureus* é promissora e pode ser utilizada para remover o cromo de ambientes poluídos com metais. Além disso, biofilmes produzidos pela *S. aureus* – uma das estruturas responsáveis pela patogenicidade da bactéria, foram testados quanto à capacidade de biorremediação de urânio (SHUKLA et al., 2020). A bioadsorção e a remoção enzimática do biofilme de *S. aureus* desempenharam um papel na remediação de até 47% dos 10 ppm de urânio (VI) (SHUKLA et al., 2020).

Thermotoga maritima é uma bactéria Gram negativa hipertermofílica que utiliza uma vasta rede de transportadores ABC para metabolizar com eficiência uma variedade de fontes de carbono para produzir hidrogênio (LATIF et al., 2015). *T. maritima* cresce anaerobicamente e possui uma temperatura ótima de crescimento em torno de 80 ° C (HUBER et al., 1986). Por ser uma fonte de enzimas termoestáveis e produtora eficiente de hidrogênio, a bactéria *T. maritima* tem grandes aplicações biotecnológicas (CONNERS et al., 2006). Apesar disso, não foram encontrados trabalhos relacionando a capacidade biorremediadora da bactéria *Thermotoga maritima*, podendo deste modo, o nosso trabalho estar indicando uma espécie candidata para novos estudos.

Considerações Finais

Os contaminantes ambientais são uma preocupação para todos os pesquisadores e têm ganhado atenção nos últimos anos devido às consequências para o meio ambiente e os seres vivos. Meios, métodos e tecnologias de remediação são necessários para reverter este cenário, e a utilização de bactérias para remediar locais poluídos e/ou contaminados é uma ótima estratégia. O *docking* molecular demonstrou ser uma ferramenta útil para compreender de modo mais detalhado as diferenças relacionadas a cada espécie bacteriana no que diz respeito às formas utilizadas para a biorremediação do tolueno. Nesse estudo, as bactérias *S. aureus* e *T. marítima*, quanto à ligação em transportadores ABC, demonstraram capacidades de interação com o tolueno semelhantes, o que pode indicar uma capacidade semelhante para biorremediação. Assim, o *docking* pode representar uma forma rápida e de baixo custo para auxiliar em pesquisas para a biorremediação de locais contaminados com hidrocarbonetos, auxiliando na escolha da bactéria ideal para realizar o processo de despoluição e/ou descontaminação.

Referências Bibliográficas

- Afrouzossadat, H. A.; Emtiazi, G.; Ghasemi, S. M.; Roghanian, R.; 2013. Isolation and characterization of a novel toluene-degrading bacterium exhibiting potential application in bioremediation. *Jundishapur J Microb*, v. 6, p. 256-261. <https://doi.org/10.5812/jjm.5142>
- An, Y. J.; Lee, W. M.; 2008. Comparative and combined toxicities of toluene and methyl *tert*-butyl ether to an Asian earthworm *Perionyx excavatus*. *Chemosphere*, v. 71, n. 3, p. 407-411. <https://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.11.010>
- Behera, B. K.; Chakraborty, H. J.; Patra, B.; Rout, A. K.; Dehury, B.; Das, B. K.; Sarkar, D. J.; Parida, P. K.; Raman, R. K.; Rao, A. R.; Rai, A.; Mohapatra, T.; 2020. Metagenomic Analysis Reveals Bacterial and Fungal Diversity and Their Bioremediation Potential From Sediments of River Ganga and Yamuna in India. *Front Microbiol*. Oct 16, v. 11, p. 1-14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.556136>
- Berman, H. M.; Westbrook, J.; Feng, Z.; Gilliland, G.; Bhat, T. N.; Weissig, H.; Shindyalov, I. N.; Bourne, P. E.; 2000 The Protein Data Bank. *Nucleic Acids Research*, v. 28, p. 235-242. <https://doi.org/10.1093/nar/28.1.235>
- Bolton, E.; Wang, Y.; Thiessen, P. A.; Bryant, S. H.; 2008. PubChem: Integrated Platform of Small Molecules and Biological Activities. In: WHEELER, Ralph A.; SPELLMEYER, David C. (Eds.) *Annual Reports in Computational Chemistry*. Oxford, UK: Elsevier, p. 217-241. [https://doi.org/10.1016/S1574-1400\(08\)00012-1](https://doi.org/10.1016/S1574-1400(08)00012-1)
- Clément, B.; Cadier, C.; 1998. Development of a New Laboratory Freshwater/sediment Microcosm Test. *Ecotoxicology*, v. 7, n. 5, p. 279-290. <https://dx.doi.org/10.1023/a:1008868330206>
- Connors, S. B.; Mongodin, E. F.; Johnson, M. R.; Montero, C. I.; Nelson, K. E.; Kelly, R. M.; 2006. Microbial biochemistry, physiology, and biotechnology of hyperthermophilic *Thermotoga species*. *FEMS Microbiol Rev*, n. 30, p. 872-905. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2006.00039.x>

Du, X.; Li, Y.; Xia, Y. L.; Ai, S. M.; Liang, J.; Sang, P.; Ji, X. L.; Liu, S. Q.; 2016. Insights into Protein-Ligand Interactions: Mechanisms, Models, and Methods. *International journal of molecular sciences*, v. 17, n. 2, p. 1-34. <https://doi.org/10.3390/ijms17020144>

Field, J. A.; Sierra, A. R.; 2008. Microbial transformation of chlorinated benzoates. *Rev Environ Sci Bio Technol*, v. 7, p. 191–210. <https://doi.org/10.1007/s11157-008-9133-z>

Gilbert, W.; 2001. Rumo ao proteoma. *Ciência Hoje*, v. 29, n. 173, p. 8-11.

Goddard, T. D.; Huang, C. C.; Meng, E. C.; Pettersen, E. F.; Couch, G. S.; Morris, J. H.; FERRIN, T. E.; 2018. UCSF ChimeraX: Meeting modern challenges in visualization and analysis. *Protein Sci*, v. 27, n. 1, p. 14-25. <https://doi.org/10.1002/pro.3235>

Goffeau, A.; Hertogh, B. D.; 2013. ABC Transporters. *Encyclopedia of Biological Chemistry*, p. 7-11. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378630-2.00224-3>

Heydarnezhad, F.; Hoodaji, M.; Shahriarinoor, M.; Tahmourespour, A.; Shariati, S.; 2018. Optimizing toluene degradation by bacterial strain isolated from oil-polluted soils. *Polish J Environ Stud* v. 27, n.2, p. 655-663. <https://doi.org/10.15244/pjoes/75811>

Huber, R.; Langworthy, T.; König, H.; Thomm, M.; Woese, C.; Sleytr, U.; Stetter, K.; 1986. *Thermotoga maritima* sp. nov. represents a new genus of unique extremely thermophilic eubacteria growing up to 90°C. *Arch Microbiol*, v. 144, p. 324–333. <https://doi.org/10.1007/BF00409880>

Itopf. 2009. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited - **Oil tanker spill statistics:2009**. p. 1-8.

Johnson, G. R.; Olsen, R. H.; 1997. Multiple pathways for toluene degradation in *Burkholderia* sp. strain JS150. *Appl Environ Microbiol*, v. 63, n. 10, p. 4047–4052. <https://doi.org/10.1128/AEM.63.10.4047-4052.1997>

Khan, F.; Sajid, M.; Cameotra, S. S.; 2013 In-silico approach for the bioremediation of toxic pollutants *J. Petrol Environ. Biotechnol*, n.4, p. 1-7. <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000161>

Kim, J. M.; Jeon, C. O.; 2009. Isolation and characterization of a new benzene, toluene, and ethylbenzene degrading bacterium, *Acinetobacter* sp. B113. *Curr Microbiol*, v. 58, p. 70–75. <https://doi.org/10.1007/s00284-008-9268-8>

Latif, H.; Sahin, M.; Tarasova, J.; Tarasova, Y.; Portnoy, V. A.; Nogales, J.; Zengler, K.; 2015. Adaptive Evolution of *Thermotoga maritima* Reveals Plasticity of the ABC Transporter Network. *Appl Environ Microbiol*, v. 81, n. 16, p. 5477-5485. <https://doi.org/10.1128/AEM.01365-15>

Li, X. D.; Tu, H.W.; Hu, K. Q.; Liu, Y. G.; Mao, L. N.; Wang, F. Y.; Qu, H. Y.; Chen, Q.; 2021. Effects of Toluene on the Development of the Inner Ear and Lateral Line Sensory System of Zebrafish. *Biomed Environ Sci*, v. 34, n. 2, p. 110-11. <https://doi.org/10.3967/bes2021.016>

Liu, Z.; Liu, Y.; Zeng, G.; Shao, B.; Chen, M.; Li, Z.; Jiang, Y.; Liu, Y.; Zhang, Y.; Zhong, H.; 2018. Application of molecular *docking* for the degradation of organic pollutants in the environmental remediation: A review. *Chemosphere*, v. 203, p. 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.179>

Meyer, C. I.; Martinez, L.; Marin, C. V.; Böhnke, S.; Harms, H.; Müller, J. A.; Heipieper, H. J.; 2017. Isolation and characterization of *Magnetospirillum* sp. strain 15-1 as a representative anaerobic toluenedegrader from a constructed wetland model. *PLoS One*, v. 12, p. 1–16. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28369150>

Nakai, C.; Kagamiyama, H.; Nozaki, M.; Nakazawa, T.; Inouye, S.; Ebina, Y.; Nakazawa, A.; 1983. Complete nucleotide sequence of the metapyrocatechase gene on the TOI plasmid of *Pseudomonas putida* mt-2. *J Biol Chem*, v. 258, p. 2923-2928.

- Orelle, C.; Mathieu, K.; Jault, J. M.; 2019. Multidrug ABC transporters in bacteria. *Res Microbiol.* v. 170, n. 8, p. 381-391. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2019.06.001>
- Oyetibo, G. O.; Miyauchi, K.; Huang, Y.; Chien, M. F.; Ilori, M. O.; Amund, O. O.; Endo, G.; 2017. Biotechnological remedies for the estuarine environment polluted with heavy metals and persistent organic pollutants. *Int Biodeterior Biodegrad.* v. 119, p. 614–625. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.10.005>
- Parsek, M. R.; McFall, S. M.; Chakrabarty, A. M.; 1995. Microbial degradation of toxic environmental pollutants: ecological and evolutionary considerations. *Int Biodeterior Biodegrad.* v. 35, n. 1-3, p. 332. [https://doi.org/10.1016/0964-8305\(95\)90033-0](https://doi.org/10.1016/0964-8305(95)90033-0)
- Perez, S.; Rosa, M.; Abalos, A.; Gomez, J. M.; Cantero, M. D.; 2006. Biodegradation of crude oil by *Pseudomonas aeruginosa* AT18 strain. *Tecnologia Quimica*, v. XXVI, n. 1, p. 70-77.
- Rajamanickam, R.; Kaliyamoorthi, K.; Ramachandran, N.; Baskaran, D.; Krishnan, J.; 2017. Batch biodegradation of toluene by mixed microbial consortia and its kinetics. *Int Biodeterior Biodegrad.* v. 119, p. 282–288. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.014>
- Sams, C.; Loizou, G. D. A.; Cocker, J. A.; Lennard, M. S.; 2004. Metabolism of ethylbenzene by human liver microsomes and recombinant human cytochrome P450s (CYP). *Toxicology Letters*, v. 147, n. 3, p. 253-260. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2003.11.010>
- Santos, A. L. Santos, D. O.; Freitas, C. C.; Ferreira, B. L. A.; Afonso, I. F.; Rodrigues, C. R.; Castro, H. C.; 2007. *Staphylococcus aureus*: visitando uma cepa de importância hospitalar. *J. Bras. Patol. Med. Lab.*, Rio de Janeiro, v. 43, n. 6, p. 413-423. <https://doi.org/10.1590/S1676-24442007000600005>
- Schrödinger, L. L. C.. 2015. The {PyMOL} Molecular Graphics System. Version 1.80 LLC, New York, NY.
- Shinoda, Y.; Sakai, Y.; Uenishi, H.; Uchihashi, Y.; Hiraishi, A.; Yukawa, H.; Yurimoto, H.; Kato, N.; 2004. Aerobic and anaerobic toluene degradation by a newly isolated denitrifying bacterium, *Thauera sp.* strain DNT-1. *Appl Environ Microbiol.* v. 70, p. 1385-1392. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.3.1385-1392.2004>
- Shukla, S. K.; Hariharan, S.; Rao, T. S. 2020. Uranium bioremediation by acid phosphatase activity of *Staphylococcus aureus* biofilms: Can a foe turn a friend? *Journal of Hazardous Materials.* <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121316>
- Sridhar, S.; Chinnathambi, V.; Arumugam, P.; Suresh, P. K.; 2013. In silico and in vitro physicochemical screening of *Rigidoporus sp.* crude laccase-assisted decolorization of synthetic dyes-approaches for a cost-effective enzyme-based remediation methodology. *Appl Biochem Biotechnol.* v. 169, p. 911-922. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-0041-x>
- Srinivasan, S.; Sadasivam, S. K.; Gunalan, S.; Shanmugam, G.; Kothandan, G.; 2019. Application of *docking* and active site analysis for enzyme linked biodegradation of textile dyes. *Environ Pollut.* v. 248, p. 599-608. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.080>
- Tariq, M.; Waseem, M.; Rasool, M. H.; Zahoor, M. A.; Hussain, I.; 2019. Isolation and molecular characterization of the indigenous *Staphylococcus aureus* strain K1 with the ability to reduce hexavalent chromium for its application in bioremediation of metal-contaminated sites. *PeerJ*, p. 1-20. <https://doi.org/10.7717/peerj.7726>
- Tong, S. Y.; Davis, J. S.; Eichenberger, E.; Holland, T. L.; Fowler, V. G., Jr.; 2015. *Staphylococcus aureus* infections: epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clin Microbiol Rev.* v. 28, n. 3, p. 603–661. <https://doi.org/10.1128/CMR.00134-14>
- Trott, O.; Olson, A. J.; 2010. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of *docking* with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *J Comput Chem.* v. 31, n. 2, p. 455-61. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>

Xu, J.; Zheng, L.; Yan, Z.; Huang, Y.; Feng, C.; Li, L.; Ling, J.; 2020. Effective extrapolation models for ecotoxicity of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX). *Chemosphere*, v. 240, p. 1-5. <https://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124906>

Wallace, A. C.; Laskowski, R. A.; Thornton, J. M. 1995. LIGPLOT: a program to generate schematic diagrams of protein - ligand interactions. *Protein Eng*, v. 8, p. 127–134. <https://doi.org/10.1093/protein/8.2.127>

Whyte, L. G.; Bourbonnière, L.; Greer, C. W.; 1997. Biodegradation of petroleum hydrocarbons by psychrotrophic *Pseudomonas strains* possessing both alkane (alk) and naphthalene (nah) cat- abolic pathways. *Appl Environ Microbiol*, v. 63, p. 3719–3723.

Zhu, D.; Zhang, P.; Xie, C.; Zhang, W.; Sun, J.; Qian, W. J.; Yang, B.; 2017. Biodegradation of alkaline lignin by *Bacillus ligniniphilus* L1. *Biotechnol Biofuels*, v. 10, n. 44, p. 1-14. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0735-y>

Zou, L.; Chen, Z.; Zhang, X.; Liu, P.; Li, X.; 2014. Phosphate promotes uranium (VI) adsorption in *Staphylococcus aureus* LZ-01. *Lett Appl Microbiol*, v. 59, n. 5, p. 528-534. <https://doi.org/10.1111/lam.12310>

PROPOSTA DE INDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL INTEGRADO PARA ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM RECUPERAÇÃO PÓS-MINERAÇÃO NA BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA

| ID 18803 |

1-2Daniel Pazini Pezente, 1-3William de Oliveira Sant Ana, 1-4Mauro dos Santos Zavarize, 1-5Ricardo Vicente, 1-6Jefferson de Faria

1 Centro Universitário SATC; 2daniel.pezente@satc.edu.br; 3william.santana@satc.edu.br; 4mauro.zavarize@satc.edu.br; 5ricardo.vicente@satc.edu.br; 6jefferson.faria@satc.edu.br

Palavras-chave: Análise Hierárquica de Processos, Compartimentos ambientais, Recuperação Ambiental.

Resumo

A atividade de mineração de carvão apresenta, historicamente, um resultado dual na Bacia Carbonífera de Santa Catarina: contribuiu para o desenvolvimento econômico, contudo, ocasionou danos à natureza. Devido ao complexo quadro de degradação das condições ambientais, o Ministério Público Federal propôs uma Ação Civil Pública (ACP do Carvão), para responsabilizar os agentes degradadores, proposta esta que foi aceita e ajuizada como Sentença. A partir deste momento, inúmeros Planos de Recuperação Ambiental de Áreas Degradadas – (PRAD) começaram a serem feitos e aplicados, com trabalhos de monitoramento de diversas temáticas, acompanhando temporalmente a evolução da qualidade ambiental destes locais. Dezenas de áreas passam por este processo, acumulando uma grande massa de dados a cada campanha de monitoramento. A equipe técnica do Núcleo do Meio Ambiente do Centro Universitário SATC (Unisatc), que compõe o Grupo Técnico de Assessoramento à Sentença (GTA), percebeu a ausência de índices e indicadores específicos para avaliação integrada da qualidade ecológica das Áreas de Preservação Permanentes (APP) destes locais sob recuperação, mesmo que haja critérios técnicos para outras temáticas. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia capaz de estabelecer um indicador de avaliação da qualidade ambiental no desenvolvimento das APP, integrando os fatores solo, fauna e flora. Uma vez definidos, hierarquizou-se estes fatores, através da Análise Hierárquica de Processos (AHP), estabelecendo uma escala de importância advinda de um questionário respondido por uma equipe multidisciplinar, cujas respostas apresentam razão de consistência dos julgamentos. Um modelo foi idealizado e representado como equação, congregando diferentes fatores e suas

componentes. Na validação da proposição aplicou-se a equação numa área piloto, aqui chamada de Área A, que passou por obras de recuperação ambiental. Para o fator flora considerou-se a cobertura, a diversidade e a abundância, sendo estes hierarquizados em 63%, 26% e 10,62%, respectivamente. Para fauna, os componentes considerados foram abundância, riqueza e guilda trófica, com representatividade, ou peso, de 48%, 41% e 11%, respectivamente. Para solos considerou-se o pH (19%), Fósforo (15%), Potássio (12%), Cálcio (5%), Magnésio (5%), Matéria Orgânica (24%), Saturação do solo por Alumínio (3%) e Processos Erosivos (17%). Pela totalização da nota parcial de cada fator do modelo aplicou-se o modelo final, que apresentou a seguinte hierarquização: flora com valoração de 0,4933, solo com 0,4233 e fauna com 0,0834, ou seja, uma proposição de escala de valoração ambiental, variável dentre 0 (ruim) e 1 (excelente). Na aplicação do modelo em área piloto, utilizando-se de dados históricos de 3 campanhas analíticas, obteve-se resultados de 0,88, 0,85 e 0,90 para o indicador proposto, ou seja, um patamar elevado de qualidade ambiental, indo ao encontro das expectativas iniciais dos especialistas entrevistados. Conclui-se que este método desenvolvido se apresenta como ferramenta para análise da qualidade ambiental integrada de APP, associando 3 fatores principais para a recuperação ambiental. Este modelo, poderá facilitar a gestão e observância das condições ambientais das áreas em processo de recuperação de passivo de mineração, facilitando a tomada de decisão por parte das empresas, prestadores de serviço, órgãos fiscalizadores e licenciadores, podendo mesmo, vir a ser um limiar adotado como critério técnico para o GTA.

Introdução

A atividade de mineração de carvão tem importância fundamental na região sul catarinense, sendo que, para alguns municípios, foi uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico, como Criciúma, Siderópolis e Lauro Müller (SILVA, 2019). No entanto, esta atividade causa alterações diretas ao meio ambiente em que ela acontece, podendo ocorrer a liberação de poluentes, alteração da paisagem, das comunidades faunísticas e florísticas, bem como alterações nas condições originais do solo, do ar e dos recursos hídricos (GONÇALVES; MENDONÇA, 2007).

Com base nestas constatações, o Ministério Público Federal (MPF) propôs uma Ação Civil Pública e demandou, em 1993, das empresas responsáveis pela degradação, a recuperação dos danos ambientais causados pela exploração mineral na região Sul de Santa Catarina. Para subsidiar os trabalhos técnicos, criou-se o Grupo Técnico de Assessoramento (GTA) à execução de Sentença proferida pela Justiça Federal, tendo como objetivo realizar estudos técnicos na bacia carbonífera, a fim de auxiliar o entendimento da dinâmica ambiental e os trabalhos de recuperação dos ambientes alterados, sendo gerados relatórios anuais de desempenho ambiental de toda a região carbonífera

(PORTAL DA AÇÃO CIVIL PÚBLICA DO CARVÃO, 2021). Ainda, desenvolveu-se critérios técnicos específicos, que se encontra na Revisão 7, de 2015 (PORTAL DA AÇÃO CIVIL PÚBLICA DO CARVÃO, 2021), que servem (de base para os trabalhos de recuperação ambiental.

A equipe técnica do Núcleo do Meio Ambiente (NMA), do Centro Universitário SATC (UNISATC), desenvolve e executa os relatórios de indicadores ambientais citados e, no decorrer do processo, o grupo percebeu a ausência de índices e indicadores específicos para a avaliação da e(in)volução da qualidade ecológica/ambiental das Áreas de Preservação Permanente (APP), que foram objetos de projetos de recuperação ambiental. Desta forma, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para estabelecer um indicador capaz de avaliar o desenvolvimento ecológico das APP's recuperadas, integrando informações relativas à solo, flora e fauna.

Esta proposição se justifica pela importância do uso de indicadores na avaliação de condições ambientais, representando uma análise científica, com categorização numérica dos dados brutos. De acordo com UNCED (1992), Zurbrügg et al. (2012) e Nascimento et. al. (2018), indicadores são frequentemente utilizados para representar o status dos ecossistemas, sendo possível avaliar não só a recuperação da paisagem da área recuperada, mas também a reconstrução dos processos ecológicos mantenedores da dinâmica vegetal. Desta forma, o desenvolvimento de um método e de um indicador específico para áreas mineradas irá favorecer os processos de recuperação e monitoramento ambiental, dando mais assertividade e qualidade às obras executadas e aos serviços ecossistêmicos gerados.

Na construção deste indicador devem ser combinados fatores, estabelecida hierarquia, ou importância relativa de cada, para o cômputo final do modelo proposto, bem como, definição de limiares para parâmetros componentes, específicos de cada fator. A combinação destas componentes, ou seja, das partes, dar-se-á algebricamente, evidenciada pela apresentação de uma equação, bem como sua aplicação numa área piloto. De reconhecido histórico de monitoramento ambiental na Bacia Carbonífera.

Materiais e Métodos

Definição dos fatores

Considerando que a faixa de Área de Preservação Permanente (APP) de margens de rios possui função primordial na recuperação de ambientes, seja na estabilização de encostas (KOBAYAMA; MICHEL; GOERL, 2012), controle da erosão do solo (NEARY; ICE; JACKSON, 2009), assoreamento e poluição dos cursos d'água (HONDA; DURIGAN, 2017), os critérios técnicos do GTA utilizam como

estratégia de recuperação deste ambiente a remobilização total de rejeitos de mineração, bem como, a subsequente reconstrução de solo (PORTAL DA AÇÃO CIVIL PÚBLICA DO CARVÃO, 2021). Nesta reabilitação do ambiente se busca a recuperação de processos e funções do ecossistema, aumentando o fluxo de serviços e benefícios ambientais, mas sem que haja uma intenção explícita de recriar as condições originais da área. Assim que a vegetação inicia seu desenvolvimento, em paralelo, a fauna retorna e/ou se adapta a estes ambientes.

Sendo assim, os 3 fatores primordiais para análise de evolução de qualidade ambiental de APP no contexto local são: solo, flora e fauna.

Definição da hierarquia dos fatores

O primeiro passo consistiu na atribuição de pesos e hierarquização dos fatores, via Análise Hierárquica de Processos – AHP (SAATY, 1977). O objetivo do método AHP foi estabelecer uma escala de importância entre fatores analisados e, posteriormente, organizá-los numa matriz, para que fossem relacionados, pareados, podendo refletir de fato, se há hierarquia de importância de um fator sobre outro (s) para APPs em fase inicial de recuperação ambiental.

A atribuição da importância dentre os fatores deu-se pela aplicação de um questionário, aplicado à equipe técnica da SATC, proponente desta proposta, com formação multidisciplinar: botânica, fauna, agronomia, a exemplo da consulta à especialistas, feita por AROF (2015).

Acerca de benefícios do método, sendo os julgamentos das comparações par a par oriundos da intuição e experiência, a AHP é capaz de considerar aspectos qualitativos e também quantitativos (tangíveis ou intangíveis) de um problema que prescinde de tomada de decisão (SAATY, 2008). Uma vez estruturada uma equação com a opinião média dos especialistas, que definiu as hierarquias dos 3 fatores, foi determinada a consistência dos julgamentos dos especialistas, ou seja, ponderando de acordo com uma Razão de Consistência (RC), que se trata de uma análise de sensibilidade, indicativa do relacionamento lógico dos julgamentos (SAATY, 1991; BRITO et al., 2017).

Uma vez ponderados e consistidos pelos especialistas, a equação que congrega e hierarquiza os fatores, oriunda da aplicação da AHP, é de fato, o modelo base para aplicação do índice de qualidade ambiental das APPs. A mesma lógica foi aplicada a cada um dos fatores, estabelecendo-se a hierarquia de seus componentes pelo método AHP.

No intuito de apresentar a equação e comprovar sua exequibilidade aplicou-se em uma área piloto recuperada, por hora denominada como Área A, de reconhecida qualidade ambiental, sendo utilizado dados brutos de 3 campanhas de monitoramento, representando uma possível e(in)volução, através do resultado do indicador proposto.

Resultados e Discussão

Definição das hierarquias

Para este trabalho foi elaborado um questionário para averiguar a opinião da equipe NMA - UNISATC acerca da hierarquia dos 3 fatores elencados, indo ao encontro do objetivo da AHP, de transformar um conhecimento subjetivo em informação quantitativa. Estes fatores foram pareados por julgamentos qualitativos, conforme a escala de Thomas L. Saaty, a exemplo da Figura 1, em que o especialista participante elencou o fator solo moderadamente mais importante que a fauna para o reestabelecimento e verificação da qualidade ambiental de uma APP.

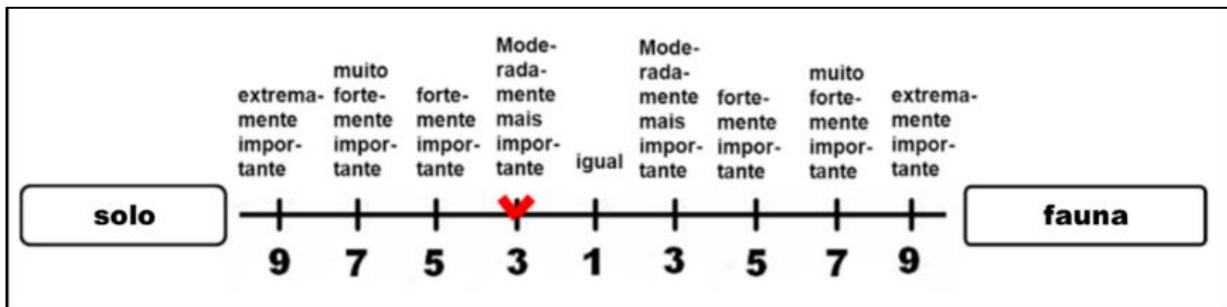


Figura 1 - Comparação par-a-par dentre os fatores elencados.

O exemplo do questionário aplicado, na qual são comparados os 3 fatores para formulação do índice de qualidade ambiental para APP segue apresentado na Figura 2.

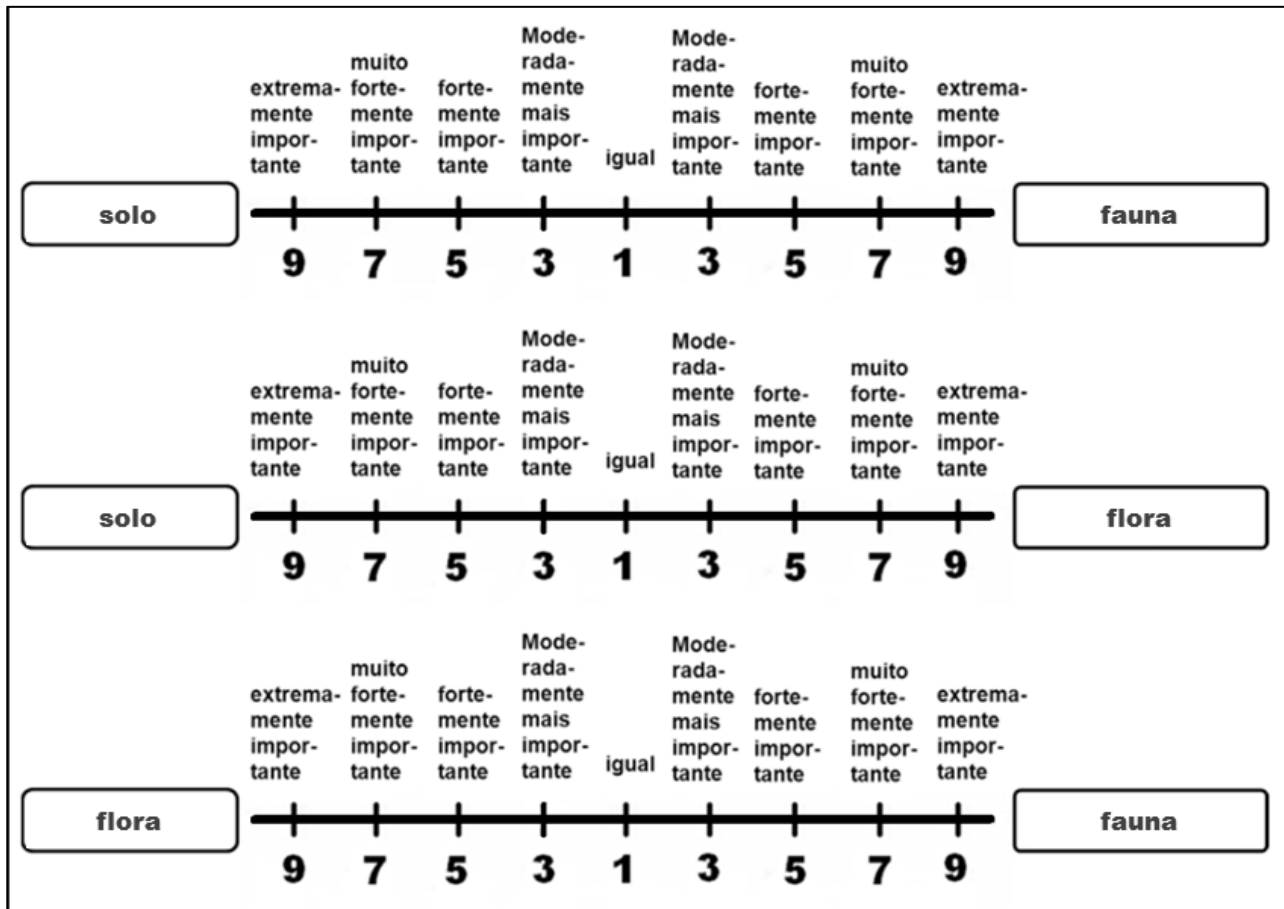


Figura 3 – Comparação par-a-par dos 3 fatores em estudo.

A comparação par a par, com os 3 fatores deste trabalho, segue apresentada na Tabela 1, a partir da resposta do questionário aplicado para um membro da equipe proponente do índice. Esta resposta diz respeito à comparação par-a-par para APP em estágio inicial de recuperação.

Tabela 5 -Matriz de comparação paritária dos julgamentos de um especialista.

Parâmetros	Solo	Flora	Fauna
Solo	1	1/3	7
Flora	3	1	5
Fauna	1/7	1/5	1

Na sequência foram calculados os autovetores, a partir da normalização da matriz de comparação. Os resultados dos autovetores forneceram a hierarquia (Tabela 2) ou ordem de prioridade, oriunda dos 3 fatores que foram comparados para cada entrevistado, mostrando os pesos computados da importância de um modelo multicritério que orientou acerca da relevância de cada fator. Neste exemplo, o fator flora responde por 61%, solo 30% e fauna 9%.

Tabela 2 - Matriz normalizada e cálculo dos autovetores.

Parâmetros	Solo	Flora	Fauna	Pesos (médias)	Somas	T - Autovetor normalizado%
Solo	0,24	0,22	0,45	0,30	0,91	30,44
Flora	0,72	0,65	0,45	0,61	1,83	61,03
Fauna	0,03	0,13	0,09	0,09	0,26	8,53
Soma	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	100,00

Uma vez obtida a matriz de autovetores, o método AHP apresentou como vantagem a possibilidade de se determinar a consistência dos pesos que foram atribuídos a cada uma das comparações pareadas, ou seja, validar, ponderando de acordo com uma Razão de Consistência (RC). A RC é a probabilidade que os valores dos julgamentos tenham sido aleatórios, variando de 0 a 1 e, seu resultado, não poderá ser maior que 0,1 (10% de inconsistência), senão, implicará em reavaliação, ou mesmo, rejeição dos pesos atribuídos pelos diferentes entrevistados. Neste exemplo a RC foi de 5,9% (< 10%), ou seja, os pesos atribuídos pelo entrevistado, aos fatores pareados, estão adequados.

Os mesmos procedimentos foram executados para os 3 especialistas que responderam à pesquisa. Com todos os autovetores (pesos) dos fatores predisponentes, definidos por cada especialista, fez-se uma média aritmética das diferentes proposições, obtendo-se a hierarquia final dos 3 fatores, que foi adotada como coeficiente multiplicador dos componentes de cada fator (Equação 1). Nesta lógica, no cômputo da análise integrada para APP, flora responderá por 49,33%, solos 42,33% e fauna 8,34%.

$$IQA_APP = 0.4933*(Componentes da Flora) + 0.4233*(Componentes do Solo) + 0.0834*(Componentes da Fauna) \quad (1)$$

Para adoção da Equação 1 se faz necessário o estabelecimento de hierarquia para os componentes de cada fator.

Hierarquia dos componentes dos fatores

Cada fator é uma soma de seus componentes que exprimirão as condições de qualidade ambiental. Sendo assim, as componentes de cada fator seguem apresentados:

- **Solo:** pH, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), saturação por alumínio (m) e processos erosivos (PE).

- **Flora:** Riqueza, Diversidade e Cobertura;

- **Fauna:** Riqueza, Abundância e Guilda Trófica.

Para definição da hierarquia dentre os componentes de um fator, optou-se por utilizar a o fator flora como exemplo. O exemplo do questionário aplicado para os componentes da flora segue apresentado na Figura 4.

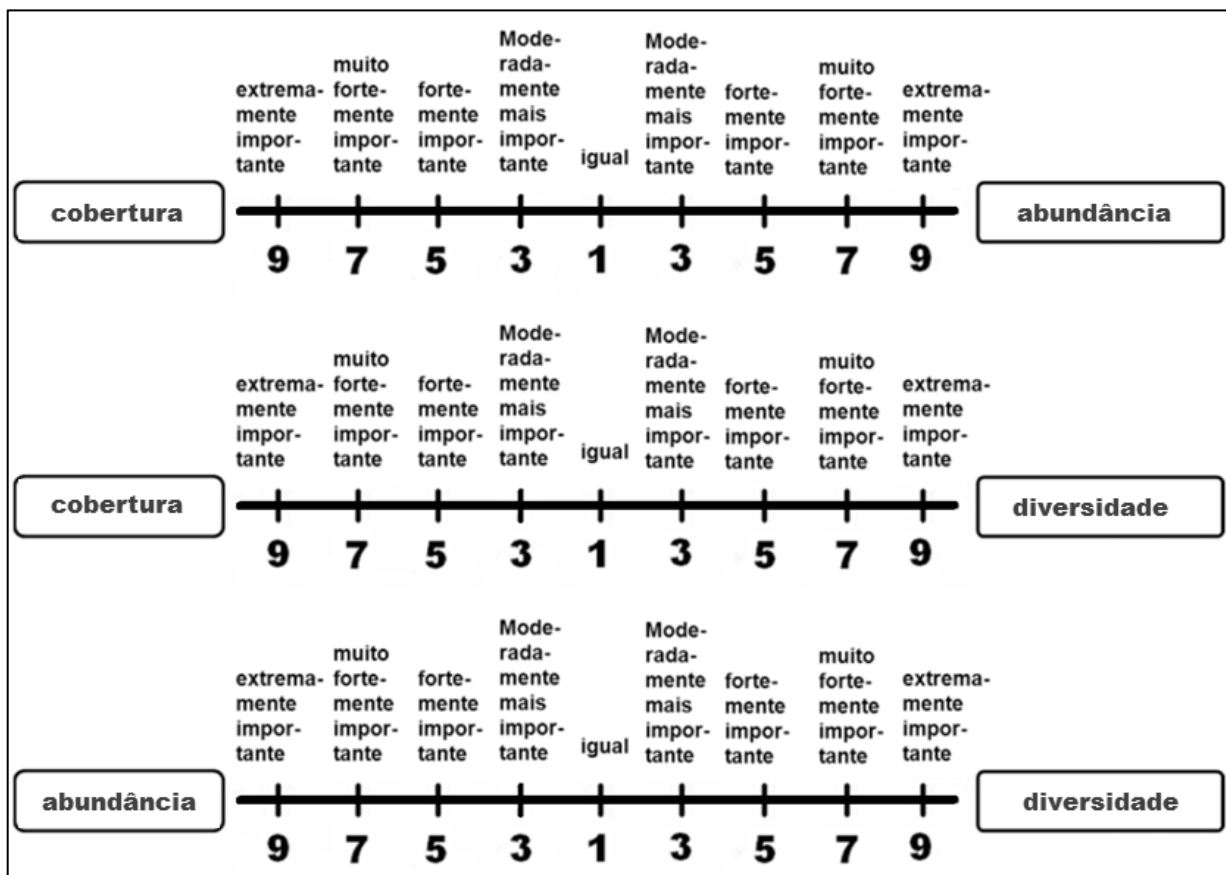


Figura 3 - Comparação par-a-par dos 3 fatores em estudo.

A comparação par a par, com os 3 componentes deste fator segue apresentada na Tabela 3, também realizada a partir da resposta de um especialista.

Tabela 6 - Matriz de comparação paritária para componentes do fator flora.

	Cobertura	Abundância	Diversidade
Cobertura	1	5	3
Abundância	1/5	1	1/3
Diversidade	1/3	3	1

Assim como já apresentado na hierarquização de fatores, para os componentes do fator flora, foi calculado o auto vetor, fornecendo a hierarquia dos 3 componentes. Neste exemplo, o componente cobertura respondeu por 63,33%, a diversidade por 26,05% e abundância por 10,62%, como pode ser visto na equação (2). A RC foi de 3,34% (< 10%), ou seja, os pesos atribuídos pelo entrevistado, aos componentes do fator flora, estão adequados.

$$\text{Flora} = 0.63 * \text{Cobertura} + 0.26 * \text{Diversidade} + 0.1062 * \text{Abundância} \quad (2)$$

Seguindo esta mesma lógica, para os componentes do solo obteve-se a Equação (3) e para fauna a Equação (4):

$$\text{Solo} = 0.19 * pH + 0.15 * P + 0.12 * K + 0.05 * Ca + 0.06 * Mg + 0.4 * MO + 0.03 * m + 0.17 * PE \quad (3)$$

$$\text{Fauna} = 0.48 * \text{Abundância} + 0.41 * \text{Riqueza} + 0.11 * \text{Guilda Trófica} \quad (4)$$

Após a definição da hierarquização dos fatores e seus componentes, ainda se faz necessários a definição de intervalos/limiares para cada componente desta proposição.

Padronização e definição de intervalos do fator Solo

Os atributos químicos de qualidade de solo são importantes na definição da qualidade do solo, uma vez que sofrem influência direta das ações realizadas sobre ou sob o solo (CARNEIRO, 2009). Em especial, os nutrientes são de grande importância, pois o desequilíbrio destes dificulta o desenvolvimento vegetal, degradando quimicamente o solo e reduzindo a cobertura vegetal necessária (LI et al., 2018). Ainda, conforme Delgado-Baquerizo (2020), os fatores pH e Alumínio são importantes pontos de estudos pois estes podem prejudicar o desenvolvimento vegetal e o processo de recuperação ambiental da área.

As bases Ca, Mg e Potássio (K), além do Fósforo (P) devem ser avaliados impreterivelmente, visto que são essenciais ao desenvolvimento vegetal. Ainda, estes elementos são de fácil reposição ao solo, por via química (adubos comerciais e calcário) ou deposição de material orgânico, com baixo custo para a implantação (DALCHAVION et al., 2012).

O processo de erosão do solo é considerado um fenômeno que impacta diretamente os recursos naturais, sendo que degrada o solo, reduzindo a camada fértil e área de desenvolvimento

das raízes, bem como polui os cursos hídricos, devido a deposição de material particulado e redução das condições para desenvolvimento de indivíduos aquáticos (KINNELL, 2010).

Desta forma, para o desenvolvimento do indicador, no fator solo, foram considerados as condicionantes que mais influenciam as condições de desenvolvimento e estabilização do solo/vegetação, sendo, então, pH, Fósforo (P), Potássio (K), Matéria Orgânica (MO), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Saturação por Alumínio (m%) e Processos Erosivos (PE).

Os resultados dos elementos químicos são obtidos através de ensaios laboratoriais e são apresentados com unidades distintas entre eles e, desta forma, os mesmos não são comparáveis nos seus resultados brutos. No intuito de padronizar os resultados dos elementos, de forma a normalizá-los, utilizou-se como base a classificação proposta pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016), sendo que os elementos são classificados como muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (Tabela 1).

Tabela 4 - Classificação dos elementos edáficos do solo.

Classificação	Nota	pH	Fósforo	Potássio	MO	Cálcio	Magnésio	CTC	m%
Muito baixo	1	≤ 5,0	≤ 3,0	≤ 30,0	-	-	-	-	>50%
Baixo	2	5,1 - 5,4	3,1 - 6,0	31 - 60	≤ 2,5%	< 2,0	< 0,5	≤ 7,5	20 - 50%
Médio	3	5,5 - 6,0	6,1 - 9,0	61 - 90	2,6 - 5,0%	2,0 - 4,0	0,5 - 1,0	7,6 - 15,0	1 a 20%
Alto	4	> 6,0	9,1 - 18,0	91 - 180	> 5,0%	> 4,0	>1,0	15,1 - 30,0	<1
Muito alto	5	-	> 18,0	> 180	-	-	-	> 30	-

Fonte: CQFS (2016).

Para a construção do indicador, considerou-se uma escala que varia entre 0 e 1 e, para isto, aglutinou-se as notas 1 e 3 (Tabela 4) no valor 0,4, a nota 3 (Tabela 4) no valor 0,6 e as notas 4 e 5 (Tabela 4) no valor 1,0.

Esses valores padronizados permitem avaliar a atual condição do solo e servir de base para a tomada de decisão da necessidade de reintervenção nas áreas em processo de recuperação ambiental. Os valores podem ser interpretados conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação dos valores obtidos.

Valor	Classificação	Descrição
0,4	Crítico	Não foram obtidos os valores mínimos esperados no prazo determinado e será exigida a readequação do projeto por meio de ações corretivas.
0,6	Mínimo	Os valores estão dentro da margem de tolerância para o prazo determinado e cumprem as exigências mínimas, porém os valores são inferiores ao esperado, o que indica a necessidade de ações corretivas para não comprometer os resultados futuros.
1	Adequado	Foram atingidos os valores esperados para o prazo determinado.

É importante ressaltar a plena ciência de que solos construídos em APP, em seu estágio inicial, possuem maior disponibilidade de nutrientes que um ponto branco, de solo natural regional. Esta observação deve ser relevada na definição de limiares, para que na análise a ser proposta não se incorra em erros.

Padronização e definição de intervalos do fator Flora

O fator flora, como já apresentado, compõe-se da combinação de 3 componentes (cobertura, abundância e diversidade), que variam, ou não, conforme o estágio de recuperação de uma APP, se inicial ou final.

Em relação à cobertura, este componente é invariável, ou seja, deve recobrir adequadamente o solo em diferentes fases de estabelecimento/regeneração de uma APP. Os limiares de cobertura para o bioma e condições locais foram definidos conforme a combinação dos Critérios para Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração, em sua revisão 7, datada de 2015 (PORTAL ACP DO CARVÃO, 2021) e orientação da Resolução da Secretaria de Meio Ambiente (SMA) do estado de São Paulo, SMA 32/2014 (SMA-SP, 2014) e da Portaria da Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais (CBRN)01/2015 (SMA-SP, 2015). A necessidade de literatura no estado de São Paulo preenche a lacuna acerca deste conhecimento no estado de Santa Catarina.

Assim, a associação dos critérios para cobertura presentes em cada norma, orientou na proposição da atribuição de uma nota, que varia de 0 a 1 para este componente, sendo que abaixo de 0,95 a cobertura é classificada como crítica e acima desse valor é classificada com adequada.

Em relação à componente abundância e diversidade utilizou-se como referencial os trabalhos de Bruchchen (2006), Klein (2006), Silva Neto (2014), Souza (2015) e Vibrans et al. (2010) que avaliaram a regeneração natural em diferentes fitofisionomias no Sul do Estado de Santa Catarina e apontaram diferentes números médios de indivíduos/hectare para ambientes naturais e antropizados (2.600), ainda conforme a Resolução SMA 32/2014, valendo peso 1, e o número mínimo aceitável (1.000), valendo peso 0,5, conforme.

Como a nota deste componente pode variar dentro da escala proposta de 0 a 1, com objetivo de multiplicar pelo coeficiente 'flora' na equação proposta no item anterior, e que esta padronização de notas de 0 a 1 objetiva a manutenção de proporcionalidades e aplicação de equação que integre vários fatores, dividiu-se a diferença entre 2.600 e 1.000, ou seja, 1.600 indivíduos. Com esta definição de 1.600 indivíduos entre a atribuição de pesos 0,5 a 1, foi estabelecido intervalo de 320 indivíduos, conforme escala proposta:

- <1.000 indivíduos/hectare: 0,5;
- 1.001 a 1.320: 0,6;
- 1.321 a 1.640: 0,7;
- 1.641 a 1.960: 0,8;
- 1.961 a 2.280: 0,9
- >2.281 indivíduos/hectare: 1,0.

Para a componente diversidade, em APP de estágio inicial, a escala proposta padronizada de 0 a 1 é a seguinte:

- < ou igual a 3 espécies por hectare: 0,33;
- 4 a 10 espécies por hectare: 0,66;
- > 11 espécies por hectare: 1,0.

Padronização e definição de intervalos do fator Fauna

A avifauna pode ser utilizada como indicador biológico devido à diversidade de espécies e habitats preferenciais, podendo ser útil como ferramentas de projetos de recuperação ambiental (CAMPOS et al. 2012) e auxiliar para compreensão e monitoramento das mudanças ambientais (SERRANO, 2008).

A riqueza, abundância e guilda trófica da avifauna podem ser utilizados para medir a efetividade dos projetos de recuperação, sendo que estudos demonstram que integrando estes critérios à componentes ambientais, em unidades amostrais, demonstram grande eficiência do índice (ALEXANDRINO, 2015).

Ainda, Padovezi et al. (2014) desenvolveram o “Índice de Contribuição da Avifauna para o Potencial de Auto Recuperação” (IC-AVEPAR) utilizando-se de critérios como a sensibilidade à alteração de habitat ocupado e guilda alimentar das espécies. Este autor sugere que aspectos qualitativos do habitat e a guilda alimentar das espécies caracterizam melhor este índice do que a diversidade de espécies.

Assim, buscou-se o desenvolvimento de limiares de fauna utilizando informações de riqueza, abundância e hábitos alimentares da avifauna que ocorre em áreas de APP em processo de recuperação ambiental, como parte do Índice de Qualidade Ambiental (IQA).

A forma mais direta e comum de se medir diversidade é usar a riqueza de espécies, que consiste no número de espécies que temos em uma determinada comunidade ou área de interesse (PEET, 1974; WILSEY et al. 2005). Os referenciais, para o escalonamento quantitativo deste fator (Tabela 6), foram estabelecidos com base em dados históricos de avifauna para áreas em recuperação na Bacia Carbonífera. Foram definidos os seguintes intervalos, com respectivas definições:

A abundância refere-se ao número de indivíduos de cada espécie encontrada no monitoramento. Os referenciais foram estabelecidos com base em dados históricos, que congregam dezenas de áreas de estudo em campanhas amostrais na Bacia Carbonífera de Santa Catarina. Com valores consultados com a média das mínimas em 60 e, das máximas, em 100 (Tabela 6).

Ainda, considerou-se a guilda trófica, definido por ROOT (1967) como sendo um grupo que explora a mesma classe de recursos do ambiente de modo semelhante. Em um sentido mais restrito, uma guilda seria um grupo de espécies que se alimentam do mesmo recurso alimentar em proporções semelhantes (SIMBERLOFF; DAYAN, 1991). Assim como abundância e riqueza, os limiares também seguiram dados históricos. Os intervalos foram definidos com base na observação das guildas são:

Tabela 6 - Intervalos e classificação dos fatores da Fauna.

RIQUEZA		ABUNDÂNCIA		GUILDA TRÓFICA	
Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação
0 a 20	0,0	<60	0,33	0 A 7	0,25
21 a 30	0,2	61 a 90	0,66	8 a 10	0,65
31 a 40	0,5	>90	1,00	11 e 12	0,85
41 a 50	0,8			>13	1,00
>51	1,0				

Finalização do modelo para avaliação de APP

O modelo consiste numa equação para análise da qualidade ambiental de APP, que associa os 3 fatores apresentados. Cada fator contribui com um determinado 'peso' neste modelo, e é composto, igualmente, por componentes hierarquizadas. A equação a ser aplicada é para APP em fase inicial de recuperação ambiental.

Estruturando-se este modelo proposto numa planilha dinâmica, ou mesmo, num software livre, qualquer técnico que estiver avaliando APP, em área de recuperação ambiental da Bacia Carbonífera, poderá contar com esta ferramenta. A operacionalização consistirá na alimentação do modelo com dados das áreas a qual se está monitorando, dos fatores aqui apresentados, obtendo-se uma resposta quantitativa, ou seja, um índice de qualidade absoluto, afastando-se de julgamentos subjetivos.

Com base no apresentado até o momento, desenvolveu-se a Equação 5, sendo esta o modelo para o Índice de Qualidade para APP (IQA - APP) fase inicial, aqui apresentado como proposta.

$$IQAPP = 49,33 * (0,63 * cobertura + 0,26 * diversidade + 10,62 * abundância) + 42,33 * (0,19 * pH + 0,15 * P + 0,12 * K + 0,05 * Ca + 0,06 * Mg + 0,24 * MO + 0,03 * m + 0,17 * PE) + 8,34 * (0,48 * abundância + 0,41 * riqueza + 0,11 * guilda)$$

(5)

Aplicação na área piloto

Para este trabalho utilizou-se a área em processo de recuperação ambiental, denominada de Área A. A área escolhida apresenta boas condições de desenvolvimento ecológico, sendo reconhecida positivamente pelos técnicos envolvidos neste estudo, do ponto de vista isolado para cada compartimento ambiental. Desta forma, jugou-se importante a aplicação do método proposto, a fim de integrar as informações das temáticas solo, fauna e flora, obtendo um resultado único, tangível, quantificável e não tendencioso, em forma de indicador.

Dentre dados de monitoramento ambiental disponíveis (CTCL, 2015), escolheu-se, aleatoriamente 3 campanhas de monitoramento, representando a evolução ambiental ao longo de 5 anos. Com estes resultados foi possível visualizar as condições atuais da APP da área de estudo, bem como, a tendência da recuperação no estágio atual.

Os dados brutos podem ser observados na tabela 7 e, na sequência (Tabela 8), apresentam-se os resultados obtidos pela aplicação das equações desenvolvidas nesta proposição de método (Equações 2, 3 e 4).

Tabela 7 – Dados brutos obtidos nos monitoramentos ambientais.

Camp.	Solo								Flora			Fauna		
	pH	P	K	MO	Ca	Mg	m	PE	Cob.	Abund.	Divers.	Riq.	Abund.	Guildd T.
	-	mg/dm ³		%	cmolc/dm ³		%	s/n	%	Unid.		Unid.		
1 ^a	5,50	9,0	95,67	3,40	10,45	1,74	84,72	n	100	5800	29	45	76	78
2 ^a	5,03	9,6	132,00	4,57	11,57	5,83	69,63	n	100	4600	28	50	82	83
3 ^a	4,80	5,1	131,00	4,80	4,80	3,40	62,10	n	100	11300	38	46	92	83

Fonte: CTCL (2015).

Tabela 8 – Aplicação das equações.

Campanhas	IQA_Flora	IQA_Solo	IQA_Fauna	IQA_APP
1	1,00	0,78	0,73	0,88
2	1,00	0,69	0,73	0,85
3	1,00	0,79	0,88	0,90

Com base na obtenção da nota para cada fator, visualizado pela Tabela 8, aplicando-se a Equação 5, chegou-se ao Índice de Qualidade para APP (IQA_APP) para as diferentes campanhas analíticas na área piloto. As notas da qualidade ambiental variaram entre 0,85 e 0,90, ou seja, foi possível observar uma estabilização das condições ambientais em alto nível. Ademais, os valores do indicador proposto variam entre 0 e 1, sustentando as convicções pessoais dos técnicos envolvidos, bem como, condizente com uma área que há mais de 20 anos já teve concluída as obras de recuperação ambiental.

Comentários finais

Este trabalho apresentou proposição metodológica para modelo de avaliação da qualidade ambiental em APP, de áreas em processo de recuperação ambiental na Bacia Carbonífera de Santa Catarina. No detalhe, consistiu numa equação, que associa os 3 fatores base, os solos, a flora e a fauna. Cada fator contribuiu com um determinado ‘peso’ neste modelo, além de ser composto, igualmente, por componentes hierarquizadas.

Estruturando-se este modelo proposto numa planilha dinâmica, ou mesmo, num software livre, qualquer técnico que estiver avaliando APP, em área de recuperação ambiental de mesmo contexto, poderá contar com esta ferramenta. A operacionalização consistirá na alimentação do modelo com dados históricos das áreas as quais se está monitorando os fatores aqui apresentados,

obtendo-se uma resposta quantitativa, ou seja, um índice de qualidade absoluto, afastando-se de julgamentos subjetivos.

O presente trabalho desenvolveu um método para análise integrada de qualidade ambiental de APP recuperada e que esteja em fase inicial e intermediária de desenvolvimento, com período máximo de 5 anos pós obras de recuperação. Entende-se que após este período, o desenvolvimento ambiental deverá ocorrer, naturalmente, com outra dinâmica ecológica, devendo ser renovadas as discussões técnicas sobre os fatores, suas hierarquizações e os limiares quali-quantitativos dos parâmetros. De antemão, adianta-se que se trabalha para customização de equação a ser aplicada para APP em fase inicial e outra para fase avançada.

A fim de melhorar a eficácia e assertividade do método, este trabalho terá continuidade com a calibragem constante dos limiares, através de bibliografias de referência bem como balizamentos com área naturais e em diferentes estágios de recuperação ambiental. Esta pesquisa se apresenta como aberta, buscando constantemente a participação de especialistas para melhor hierarquizar os fatores e seus componentes.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC) e ao Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina - SIESESC pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Alexandrino, E.R. 2015. A paisagem antrópica sob avaliação: a avifauna em remanescentes florestais, matrizes agrícolas e as implicações para a conservação. Tese de doutorado. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Arof, A. Md. 2015. The application of a combined Delphi-AHP Method in Maritime Transport Research: a review. *Asian Social Science*, v.11, n23, p. 73-82.

Brito, M. M. De; Weber, E. J.; Passuelo, A. 2017. Avaliação multicritério aplicada ao mapeamento a suscetibilidade a escorregamentos: o caso do Bairro Cascata, Porto Alegre, RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 3, p. 735 – 749.

Bruchchen, L. M.. 2011. Regeneração natural de espécies arbóreas em um fragmento de floresta ombrófila densa no município de Criciúma, Santa Catarina. 51 p. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas Bacharelado, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma.

Campos W.H.; Miranda Neto A.; Peixoto H.J.C.; Godinho L.B.; Silva E. 2012. Contribuição da fauna silvestre em projetos de restauração ecológica no Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(72):429-440. doi: 10.4336/2012.pfb.32.72.429

Carneiro, M. A. C.; Souza, E. D.; Reis, E. F.; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. D. 2009. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.1.

- CQFS - Comissão De Química E Fertilidade Do Solo-RS/SC. 2016. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11 ed. Porto Alegre: SBCS-Núcleo Regional Sul/UFRGS, 376p.
- CTCL – Centro Tecnológico De Carvão Limpo. 2015. Banco de Dados NMA.
- Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. P.; Andreotti, M.; Montanari, R. 2012. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto. *Revista Ciência Agrônômica*, v.43, n.3, p.453-461.
- Delgado-Baquerizo, M., Reich, P.B., Trivedi, C. *et al.* 2020. Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nat Ecol Evol* 4, 210–220.
- Germani, D. J. 2002. A Mineração no Brasil – Relatório Final. Rio de Janeiro: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- Gonçalves, T. M.; Mendonça, F. A. 2007. Impactos, riscos e vulnerabilidade socioambientais da produção do carvão em Criciúma/SC (Brasil). Curitiba: Editora UFPR, n. 14, p. 55-65.
- Honda, E. A.; Durigan, G. 2017. A restauração de ecossistemas e a produção de água. *Hoehnea* v.44 (3), p. 315-327.
- Kinnell, P. L. A. 2010 Event soil loss, runoff and the universal soil loss equation family of models: A review. *Journal of Hidrology*, v.385, p.384-397.
- Klein, A. S. 2006. Áreas Degradadas Pela Mineração de Carvão no Sul de Santa Catarina: vegetação versus substrato. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2006.
- Kobiyama, M.; Michel, G.P.; Goerl, R.F. 2012. Relação entre desastres naturais e floresta. *Revista GeoNorte*, v.6, p.17-48.
- Li, J.; Ramirez, G. H.; Kiani, M.; Quideau, S.; Smith, E.; Janzen, H. Puurveen, D. 2018. Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects. *Canadian Journal of Soil Science*, v.98, n.2, p.232-245.
- Nascimento, R.C.M.; Guilherme, B.C.; Araújo, M.C.B De; Magaroto, M.; Cavalcanti, J.S.S. 2018. Uso de Indicadores Ambientais em áreas costeiras: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.2, n.1. 052-069.
- Neary, D. G., Ice, G. G.; Jackson, C. R. 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*: v.258, p.2269-2281.
- Padovezi, A.; Rodrigues, R. R.; Horbach, M. A. 2014. Avifauna como possível indicador da resiliência de áreas degradadas. *Advances in Forestry Science*, Cuiabá, v. 1, n. 1, p. 11-17.
- Peet, R.K. 1974. The measurement of species diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5:285-307.
- Portal da Ação Civil Pública - ACP do carvão. Disponível em:(<http://acpcarvao.com.br/login/index.php>)> Acesso: 28 maio 2021.
- Root, R.B. 1967. The niche exploitation patterns of the blue-gray gnatcatcher. *Ecological Monographs* 37: 317-350.
- Saaty, T. L. A. 1977. Scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of the Mathematical Psychology*. n.15, p. 234-281.
- Saaty, T. L. 1991. Método de análise hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill Pub. Co.
- Saaty, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*. v. 1, n.1, 2008.

Serrano, I. L. 2008. O anilhamento como ferramenta para estudo de aves migratórias. Cap. 12, p. 1-6. In: De La Balze, V. M. e Blanco, D. E. (eds). Primer taller para la Conservación de Aves Playeras Migratórias em Arroceras del Cono Sur. Wetlands Internacional. Buenos Aires, Argentina. Disponível em: <http://lac.wetland.org>. Acesso em: 10 nov. de 2014.

Silva, M.J.A. da. 2019. Indústria Carvoeira e Degradação: Decrescimento como perspectiva de superação da problemática socioambiental no sul Catarinense. Departamento de Geografia – USP.

Silva Neto, A. da. 2014. Regeneração Natural de Espécies Arbóreas Nativas em Sub-Bosque de Povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas Bacharelado, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma.

Simberloff, D. E.; Dayan, T. 1991. The guild concept and the structure of ecological communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 22: 115-143.

SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2014. RESOLUÇÃO SMA Nº 32, DE 03 DE ABRIL DE 2014, Estabelece as Orientações, Diretrizes e Critérios sobre Restauração Ecológica no Estado de São Paulo, e dá Providências Correlatas. Secretaria do Estado do Meio Ambiente. 2014. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/wp-content/uploads/sites/32/2019/05/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-n%C2%BA-32-2014.pdf>. Acesso em: 28 de maio de 2021.

SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2015. Portaria CBRN 01/2015, Estabelece o Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica. Secretaria do Meio Ambiente. Disponível em: http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2016/12/2015_1_15_Procoto_lo_monitoramento_restauracao_vfinal.pdf. Acesso em: 28 de maio de 2021.

Souza, J. C. de;. 2015. Regeneração Natural da Comunidade Arbórea da Floresta Ombrófila Densa Montana do Parque Estadual da Serra Furada, Sul de Santa Catarina, BRASIL. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas Bacharelado, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma,

UNCED - The United Nations Conference on Environment and Development. 1992. Agenda 21, in: *Nanoscale Research Letters*. Rio de Janeiro.

Vibrans, A. C.; Sevegnani, L.; Lingner, D. V.; Gasper, A. L. de; Sabbagh, S. 2010. Inventário florístico florestal de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais. Blumenau, FURB.

Vicente, R. 2008. Avifauna e dispersão de sementes com uso de poleiros artificiais em áreas reabilitadas após mineração de carvão a céu aberto, Siderópolis, sul de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado, 100 p.

Wilsey, B.J.; Chalcraft, D.R.; Bowles, C.M.; Willig, M.R. 2005. Relationships among indices suggest that richness is an incomplete surrogate for grassland biodiversity. *Ecology* 86(5):1178-1184.

Zurbrügg C.; Gfrerer M.; Ashadi H.; Brenner W.; Küper D. 2012. **Determinants of sustainability in solid waste management - the gianyar waste recovery project in Indonesia.** *Waste Manag.*, 32 pG. 2126-2133.

TECNOLOGIAS DE REMEDIAÇÃO/RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS EUTROFIZADOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E BIBLIOGRÁFICA DA LITERATURA

| ID 19419 |

1 Sofia Bheatrice Gianeri Spada, 2 Anderson Schmeing, 3 Roseli Benassi, 4 Tatiane Araujo de Jesus

1UFABC, e-mail: sofia.spada@ufabc.edu.br; 2UFABC, e-mail: anderson.schmeing@ufabc.edu.br;

3UFABC, e-mail: roseli.benassi@ufabc.edu.br; 4UFABC, e-mail: tatiane.jesus@ufabc.edu.br

Palavras-chave: eutrofização, remediação, restauração.

Resumo

A eutrofização é consequência do aumento de fósforo e nitrogênio em ecossistemas aquáticos resultando no aumento da produção da biomassa algal e comprometimento da disponibilidade hídrica. Ambientes lânticos são mais suscetíveis ao processo de eutrofização visto que atualmente muitos se encontram circundados por cidades. O crescente processo de urbanização é visto como a principal causa, sendo as atividades industriais e agropecuárias as maiores contribuidoras. É evidente a necessidade de prevenção e remediação da eutrofização, uma vez que o seu aumento impacta diretamente a segurança hídrica das nações, desta forma, este artigo tem como objetivo realizar através de uma revisão bibliométrica e bibliográfica uma análise das principais tecnologias de remediação e recuperação utilizadas nos últimos cinco anos a nível mundial. Para tanto foi realizada uma busca nas bases *Web of Science* e *Scopus* utilizando as seguintes palavras chaves: eutrofização, remediação e água doce. Foi efetuada uma filtragem dos artigos levando em conta se a tecnologia empregada foi realizada *in situ*, custos, se o artigo aborda a tecnologia em si ou apenas suas consequências. Para auxiliar nesta segunda filtragem foi utilizado o software VOSViewer que possibilitou uma melhor análise das buscas encontradas em ambas as bases de dados. Os resultados obtidos mostram que há um aumento de métodos químicos na remediação de ambientes lânticos eutrofizados e que os métodos biológicos estão sendo retomados em razão do seu baixo custo e menor impacto ambiental. Os métodos físicos nos últimos cinco anos têm apresentado uma queda na sua utilização devido ao alto impacto ambiental.

Introdução

A eutrofização é um processo complexo de modificação do ambiente aquático devido ao aumento da carga de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, favorecendo o aumento da biomassa do fitoplâncton e afetando toda a biodiversidade local (Glibert e Burford, 2017). A eutrofização pode ser classificada como natural ou antrópica, sendo a eutrofização antrópica a mais preocupante uma vez que é desencadeada por atividades humanas tais como a agricultura, industrialização e urbanização (ESTEVES, 2011; JEPPESEN et al., 2017). Além da perda da biodiversidade local, a eutrofização tem como consequência a perda de qualidade da água incluindo alterações organolépticas e aumento na turbidez. Além disso, ocorre também o comprometimento da pesca, da produção de energia, de atividades recreativas, do transporte, incremento de CO₂ na atmosfera, entre outros (GLIBERT e BURFORD, 2017; POMPÊO, 2017; HUISMAN et al., 2018; ÇELEKLI e LEKESIZ, 2021).

O impacto do aumento populacional e do intenso desenvolvimento industrial, e, conseqüentemente, da degradação ambiental, incorre em um contexto de pressão ambiental causada pela produção de rejeitos na forma de efluentes que atingem lagos em todo o mundo (JEPPESEN et al., 2017; ÁLVAREZ-MANZANEDA et al., 2019). As concentrações de nitrogênio, por exemplo, que excedem 5 miligramas por litro de água de um sistema lântico, geralmente indicam poluição por dejetos humanos e animais ou escoamento de fertilizantes de áreas agrícolas (UNDESA, 2021). A remediação ecológica é usada para ajustar a estabilidade do lago e amortecer a velocidade da circulação de nutrientes, restaurando e reconstruindo o ecossistema relativamente complexo, finalmente restabelecendo um ecossistema saudável (ZHANG et al., 2020). O primeiro passo para conter a eutrofização é reduzir a carga de origem externa de nutrientes (medidas preventivas), seguido do controle das fontes internas de nutrientes (medidas corretivas). No entanto, existem muitas considerações a serem feitas respeitando o contexto de cada caso. Paul et al. (2021) citam, por exemplo, a importância de se conceber a ecologia e engenharia como abordagens inovadoras e interdisciplinares para mitigação/restauração de corpos d'água doce eutrofizados.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo realizar os levantamentos bibliométrico e bibliográfico recentes (últimos 5 anos) acerca das medidas corretivas de remediação de ambientes aquáticos lânticos eutrofizados com vistas à sua restauração.

Material e Métodos

A busca por informações e lacunas se deu a partir de uma revisão da literatura, explorando as bases de dados do *Scopus* e *Web of Science*. A intenção foi mapear as tecnologias que estão sendo utilizadas para remediação e recuperação de ambientes eutrofizados continentais. O foco da exploração ocorreu de forma delimitada pela busca por publicações nos últimos 5 anos que contemplavam combinações entre os termos em língua inglesa referentes a “eutrofização, água doce, remediação e/ou recuperação”, nos títulos, resumos e/ou nas palavras-chave das publicações. Diante do material explorado, análises foram feitas para verificar as abordagens adotadas frente aos desafios de ocorrências de eutrofização de ambientes aquáticos continentais em todo o mundo.

Os dados foram organizados, tabulados e convertidos em imagens de fácil análise quantitativa e qualitativa utilizando *software* Vosviewer para auxiliar no tratamento matemático e modelagem de dados. Neste sentido, adotamos o uso de uma tabela para organizarmos as publicações e abordagens tecnológicas, gráficos para quantificar as publicações e combinações e mapa conceitual para melhor elucidar o panorama das principais abordagens tecnológicas. O Software Vosviewer é utilizado para a construção e visualização de redes bibliométricas. Permite a criação de mapas de termos recorrentes nos títulos e resumos das publicações. Como resultado gráfico o tamanho do círculo indica a frequência de ocorrência de cada termo, e a distância entre círculos se dá inversamente proporcional à relação entre seus termos. Cores diferentes indicam grupos diferentes de tópicos.

Resultados e Discussão

Levantamento bibliométrico

Ao analisarmos o volume de publicações nos últimos 5 anos nas bases *Web of Science* e *Scopus* da *Elsevier* verificamos uma intensificação progressiva de publicação acerca do tema eutrofização, corpos d’água doce e recuperação, bem como, os seguintes volumes para as combinações de termos (balões) utilizados nas buscas nessas duas bases de dados (Figura 1).

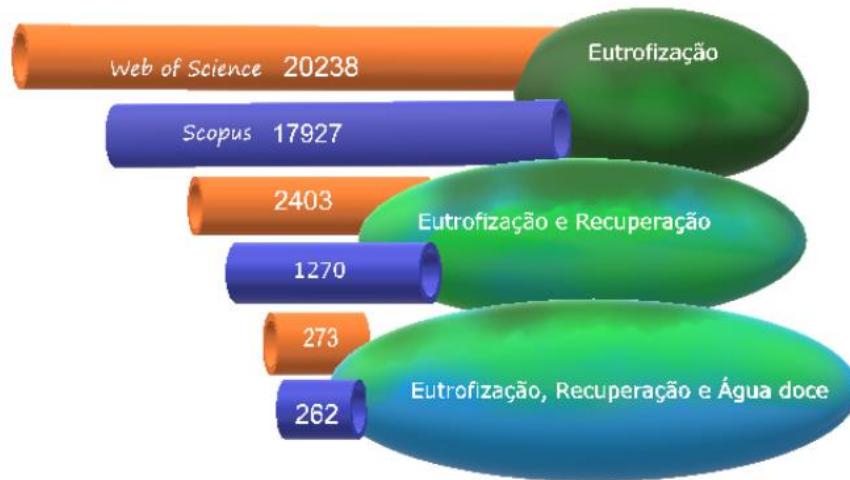


Figura 1. Volume de publicações sobre eutrofização nos últimos 5 anos nas bases Scopus e Web of Science por temas relacionados (balões): “eutrofização, recuperação e corpos de água doce”.

Os dados obtidos no banco de dados *Web of Science* acerca dos termos “*restoration or recovery or remediation*” em publicações dos últimos 5 anos foram tratados como recurso de análise bibliométrica para verificar termos correlacionados (Figura 2). O aplicativo foi configurado para contagem binária onde importa apenas a presença ou ausência dos termos.

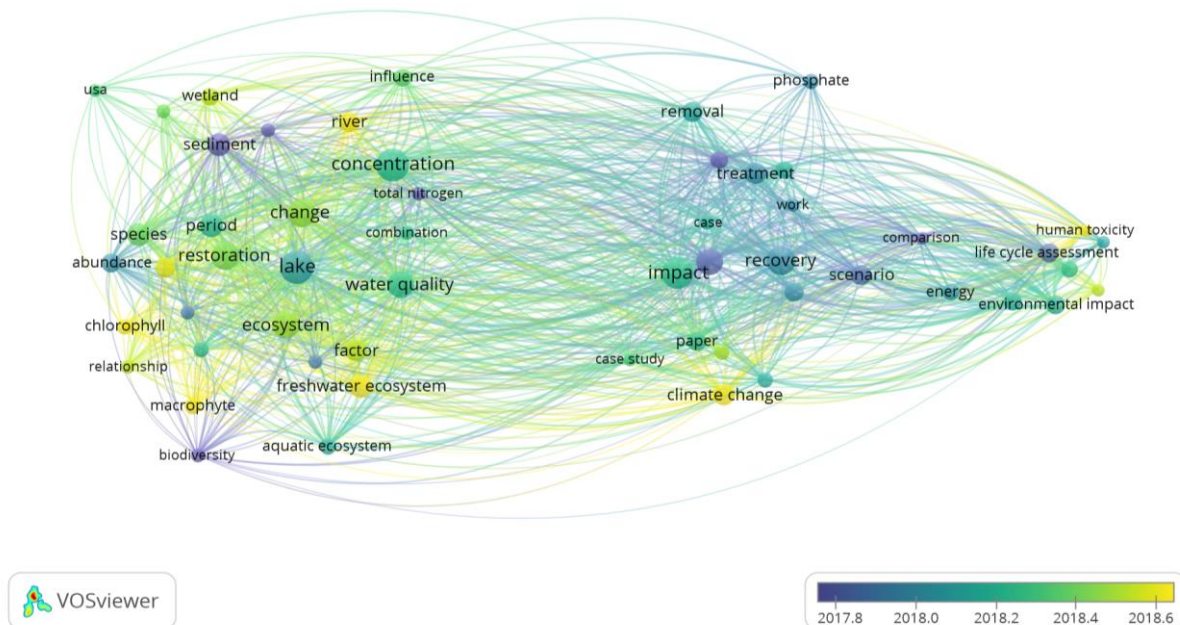


Figura 2. Resultado da correlação dos termos “restoration or recovery or remediation” nos títulos, resumos e palavras chave das publicações realizadas nos últimos 5 anos na base de dados Web of Science (versão 1.6.12).O resultado gráfico elucidava uma rede diversificada de conceitos, parâmetros e tecnologias acerca dos termos relacionados principalmente com eutrofização de lagos e recuperação.

Levantamento bibliográfico

Segundo Luring et al. (2020) várias são as intervenções tecnológicas implementadas em corpos hídricos eutrofizados, incluindo redução ou imobilização *in situ* de fósforo, monitoramento hidrológico, monitoramento ecológico, biomanipulação e controle *top down*. Os autores chamam a atenção para a necessidade de controle do processo de eutrofização e a urgência de métodos rápidos e eficientes. Normalmente, a reabilitação de águas eutrofizadas engloba três fatores: controle das fontes de poluentes, restauração do sistema danificado e monitoramento da bacia hidrográfica.

Para melhor elucidar os resultados obtidos com as buscas nas bases citadas sobre as abordagens tecnológicas para mitigação/restauração de ambientes aquáticos continentais eutrofizados em respectivos contextos, os dados foram organizados na Tabela 1. A intenção com a tabela foi principalmente verificar situações de abordagens tecnológicas frente a seus respectivos contextos e inferir especificidades e grau de êxito nas abordagens adotadas.

Tabela 1. Abordagens tecnológicas adotadas para remediação e recuperação de ambientes aquáticos continentais eutrofizados. As informações são provenientes de uma análise das publicações que ocorreram nos últimos 5 anos das bases de dados Web of Science e Scopus Elsevier.

Tecnologias de Remediação e Recuperação de Ambientes Aquáticos Continentais Eutrofizados			
	Autor/Data/Local	Tecnologia	Detalhamento da técnica
Métodos Físicos	ZHOU, Q.; LI, C.; FAN, C. (2016)	Dragagem	Remoção de nitrogênio mineralizado nos sedimentos de um lago eutrofizado e utilização de arado para a remoção dos nutrientes
	ZHONG, J et al. (2021); Lago Taihu. China		
	PANTANO, G et al (2016); Reservatório de Ibirité	Adsorção	Utilização de serragem como adsorvente orgânico
	RICHARDSON, J et al (2019);	Drenagem Pluvial	Estudo de fatores abióticos como pH, temperatura e carga de nutrientes e sua relação com períodos de cheias para avaliar a relação com a eutrofização
Métodos Químicos	LURILING, M et al. (2020); Lagoa da Pampulha	Floculação	Através de coagulantes como sulfato de alumínio, sulfato de zinco ou cloreto férrico as algas e macrófitas decantam em subsuperfície, facilitando a sua remoção. Um produto muito utilizado é o Phoslock
	BARÇANTE, B. et al. (2020); Reservatório da Pampulha		

	XIE, F et al. (2020); China		
	COPPETI, D et al (2015)		
	SPEARS, B et al. (2016)		
	FANG, L et al. (2018); China		
	LUCENA-SILVA, D et al (2019); Reservatório Argemino Figueredo	Precipitação de Ferro	Utilização de coagulantes sulfato de alumínio (SUL), cloreto de polialumínio (PAC) e quitosana (CHI), isoladamente e combinados com bentonita e bentonita modificada com lantânio
	ZHOU, Q et al. (2018); Lago Dianchi	Algicida	Utilização de peróxido de hidrogênio como algicida
Métodos Biológicos	YU et al., 2020	Fitorremediação/ Transplantação de angiospermas aquáticas	Forrageamento submerso com <i>Phragmites australis</i> para controle da mobilidade do P do sedimento, convertendo Ca-P (mais inerte) em frações redox-sensíveis de Fe-P e LS-P (menos recalcitrantes)
	SFRISIO, A et al. (2019); Lagoa de Veneza		Utilização de espécies nativas de angiospermas aquáticas para realizar a recolonização de trechos da Lagoa de Veneza.
	Khare et al., 2019; Lago Okeechobee, Florida, USA		Controle de TP por combinação de estratégias, “Melhores práticas de gerenciamento (BMPs), gestão de água dispersa (DWM), restauração de wetland e ampliação de áreas de captação de água de chuva (STAs)”
	Zhang et al., 2016 Huizhou West Lake, província de Guangdong, sul da China	Biomanipulação	Biomanipulação com ajuste da assembleia de peixes e introdução de para melhorar a qualidade da água e o crescimento de algas bentônicas, controlando a liberação de P do sedimento.
	HUI, F et al. (2021); 20 lagos dinamarqueses;		Avaliação da relação bottom up e bottom down da comunidade de zooplâncton e fitoplâncton e sua relação com os fatores abióticos para avaliação da melhora da qualidade da água através da diminuição da concentração interna de nutrientes, remoção e introdução de espécies de peixes e vegetação
	JUZA, T et al. (2019); Lago Velky Bojovce;		

CHAO, X et al (2019); Lago Bao'an;	
Beklioglu, M et al. (2017); Lagos Mogan e Eymir (Turquia);	

De acordo com o levantamento realizado nos últimos cinco anos, houve um aumento de técnicas corretivas em detrimento das técnicas preventivas de eutrofização. As principais medidas incluem o controle da poluição externa (floculação, inativadores de nutrientes e coagulantes), controle da poluição interna (dragagem e adsorção) e controles biológicos (fitorremediação e biomanipulação). Luring et al. (2020) chama a atenção para a necessidade de melhorar tecnologias antigas a partir das tecnologias atuais, visando uma melhora no processo de restauração e remediação de lagos eutrofizados.

Lang et al. (2016) ressaltam a importância dos resultados estatísticos para análise da eficiência das técnicas de restauração. A seguir estão descritas as principais técnicas adotadas pelos artigos mencionados tabela 1:

Métodos Físicos

São métodos que envolvem intervenções no ecossistema aquático eutrofizado por meio de processos mecânicos, tais como aeração do hipolímnio, cobertura de sedimentos, escavação de sedimentos, drenagem, dragagem, remoção de sedimentos, de macrófitas e de algas, sombreamento, entre outros. Muitos são os autores que reconhecem a eficiência desses processos na mitigação de contextos de eutrofização, bem como, devido ao fato de que esses métodos costumam apresentar efeitos positivos em curto período de tempo (ZHONG et al., 2021; RICHARDSON, et al., 2019; HUISMAN et al. 2018).

Métodos químicos

Normalmente, métodos químicos são indicados para lagos em estado avançado de eutrofização (Zhang et al., 2020). Os métodos químicos envolvem a utilização de recursos químicos para controlar o volume de elementos químicos e bioprodutos. Neste sentido, são comumente empregados o sulfato de cobre, herbicidas, algicidas, entre outros. Zhang et al. (2020) apontam para a utilização do sulfato de cobre como um método utilizado globalmente para remoção ou controle de bloom algal. ZHOU et al. (2016) destacam novos métodos que têm sido estudados nas últimas décadas para eliminação de

cianobactérias, como a floculação, a coagulação, a oxidação e a irradiação ultrassônica, no entanto, todas estas técnicas só podem ser utilizadas após a ocorrência do *bloom*.

A floculação consiste na pulverização da água com compostos químicos visando à formação de flocos que envolvem elementos diversos suspensos na água, incluindo as cianobactérias. Isso possibilita a remoção desses elementos em estágios posteriores à precipitação dos flocos. Esse mecanismo possui certas desvantagens atreladas a águas profundas, onde com a profundidade elevada pode ocorrer a desconfiguração dos flocos e consequente liberação das cianobactérias na coluna d'água. As metodologias "*Floc and Sink*" ou "*Floc and Lock*" são metodologias que, respectivamente, recorrem a algicidas seguidos de combinações com agentes coagulantes e agentes coagulantes com fixadores de fósforo (P).

Lüring et al. (2020) apresentam um detalhado aporte da literatura descrevendo diversos coagulantes e compostos utilizados como lastro. Neste sentido, citam os coagulantes à base de metal, poliméricos, orgânicos, catiônicos e provenientes de extratos de sementes, bem como, solos locais, bauxita, argila, cascalho e argila modificada.

A utilização de algicidas são técnicas com objetivo direto de eliminar a biomassa algal local, bem como inibir o crescimento das plantas aquáticas. O emprego de algicidas no melhoramento da qualidade da água de ambientes eutrofizados é tido como positivo por conta da ação do agente de oxidação monopersulfato de potássio, que impede a multiplicação de cianobactérias. Por outro lado, existem registros de aumento de toxicidade posterior à morte das algas (LURING et al., 2020).

Métodos Biológicos

Métodos biológicos in-situ para tratamento de águas eutróficas envolvem ilhas flutuantes artificiais (AFIs) que são tecnologias adaptadas das wetlands, fitorremediação e compostagem (Paul et al., 2021). Métodos biológicos podem reforçar a interação existente entre microorganismos e microorganismos aquáticos e a capacidade de autodepuração das águas quando se trata de poluição aquática. A biorremediação e fitorremediação utilizam especificamente microorganismos, plantas aquáticas e animais aquáticos para degradar, absorver e transformar os nutrientes. Os fatores que afetam a biorremediação incluem as fontes de energia, concentração de nutrientes, pH, temperatura e substratos inibitórios ou metabólicos (ZHANG et al., 2020). Ao contrário, a biomanipulação dita manipulação food-web, manipula os biomas através da alteração de sua estrutura, esta tecnologia é suportada pela teoria da cadeia trófica e tem sido utilizada amplamente. A seguir estão descritas as principais técnicas biológicas de remediação:

Bioadsorventes

Tecnologias *in situ* são uma alternativa economicamente viável, algumas envolvem o uso de alumínio ou sais de ferro, cálcio, nitrato e bioadsorventes. A opção da madeira como um adsorvente se dá principalmente por conta do seu desperdício nos processos industriais que pode torná-la um poluente se não for bem tratado. Pântano et al. (2017) realizou uma pesquisa com a utilização de serragens a partir da geração de resíduos de madeira como adsorventes no reservatório de Ibirité. A autora cita que a utilização da serragem como adsorvente de fósforo permite a sua utilização como fertilizante na agricultura. Pântano et al. (2017) concluíram que a serragem não apresenta capacidade de adsorção para cobre, níquel, chumbo e cádmio.

Zhou et al. (2016) realizou um estudo parecido, onde foi avaliado o potencial de adsorção de resíduos de agricultura. É uma técnica que apresenta um custo operacional baixo e consiste na realocação da superfície de poluentes nos sedimentos para uma superfície mais profunda. Zhou et al. (2016) fizeram diferentes pacotes de resíduos misturados com cianobactérias com diferentes superfícies de sedimentos. O experimento teve duração de 42 dias a todos e os resultados mostraram que as cianobactérias foram eliminadas através de forrageamento a partir de uma profundidade de 10 cm (o adsorvente permitiu a remoção de 82,8% ou mais). Os autores explicam que isso ocorre devido ao ambiente anóxico encontrado no fundo dos sedimentos após a introdução do PT, mas ressaltam que os resultados encontrados *in situ* podem ser diferentes dos encontrados pelo experimento.

Fitorremediação

A biorremediação aquática inclui a fitorremediação e a remediação por organismos aquáticos, contudo, a maioria das conquistas de remediação nos últimos anos têm sido atribuídas à utilização de plantas aquáticas. A fitorremediação é um eficaz método de controle, regulagem e inibição de ambientes eutrofizados. Plantas aquáticas podem absorver os nutrientes durante seu crescimento e remover, destruir ou isolar substâncias tóxicas do ambiente. Uma técnica muito conhecida de fitorremediação é a utilização de wetlands para a remoção de nutrientes em ambientes eutrofizados (ZHANG et al., 2020).

Segundo Zhang et al. (2020) wetlands são importantes sistemas para melhora da qualidade da água e proteção da biodiversidade. Abouali, et al. (2017) definem as wetlands como áreas de transição entre o ecossistema aquático e o ecossistema terrestre que promove uma série de funções e serviços ecológicos que incluem: atenuação de cheias, redução da poluição, sequestro de carbono, recarga de aquíferos e refúgio para os animais. A remoção de fósforo através das wetlands ocorre através da *peat accretion*, adsorção, precipitação e *plant and microbial uptake*. No entanto, a

capacidade de retenção de fósforo das wetlands possui um importante papel na melhora da qualidade da água a jusante.

Camas flutuantes

A utilização de camas flutuantes é uma adaptação da utilização de wetlands e que melhora a purificação da água. Uma das vantagens dessa tecnologia é o seu baixo custo, além de ser ecologicamente amigável. Algumas desvantagens dessa tecnologia como por exemplo: a sua vulnerabilidade em relação a desastres naturais como furacões ou tufões que normalmente ocorrem em regiões tropicais e subtropicais além da restrição do crescimento das plantas e a limitada biomassa.

Zhang et al. ressaltam alguns pontos que devem ser considerados para futuras pesquisas e possíveis aplicações da técnica: a) melhora do cultivo das plantas e testar outros tipos de plantas com maior capacidade de retenção de nutrientes; b) mais pesquisas devem ser conduzidas para estudar a combinação de diferentes tipos de técnicas de remediação e c) melhorar a capacidade de reciclagem das plantas após a sua utilização ao invés de apenas descartá-las.

Biomanipulação

A biomanipulação é uma técnica de remediação que trabalha com *food web* para a restauração da saúde do ecossistema. O resultado geral é uma queda no número de espécies do fitoplâncton. Zhang et al (2020) divide a biomanipulação em clássica e não clássica, sendo que a primeira é utilizada para controlar baixos níveis de nutrientes enquanto que a outra é usada para grandes quantidades de blooms de cianobactérias com altos níveis de nutrientes.

A biomanipulação tem se mostrado muito eficiente na mudança de turbidez da água e na remoção de peixes carnívoros no ecossistema. Zhang explica que isso ocorre devido às características da cadeia alimentar (controle *top down*). O autor realizou pesquisa com moluscos e outros animais que se alimentam de alga e outros detritos para melhorar a transparência da água e aumentar o crescimento de algas bentônicas. A pesquisa demonstrou que a utilização de moluscos para predar as algas da região pelágica melhorou a transparência da água, contribuindo para uma melhora do seu estado trófico. Os autores ressaltam que a biomassa utilizada de moluscos no experimento foi utilizada para lagos rasos e outras pesquisas em lagos profundos devem ser realizadas para verificação da eficiência da técnica. (Zhang et al., 2017)

Verifica-se consultando a literatura ao longo dos anos que muitos são os registros de intervenções e estudos de casos envolvendo técnicas e tecnologias diversas datados desde meados da década de 1950, por exemplo, por Nixon em 1995 (HUPFER., Hilt., 2018). No entanto, percebe-se

que nos últimos 5 anos essas tecnologias e abordagens foram potencializadas com muitas inovações com o propósito de urgentemente mitigar/recuperar os efeitos da eutrofização em corpos de águas continentais por todo o mundo.

Considerações Finais

O rápido crescimento econômico das últimas décadas tem se mostrado como principal fator deflagrador do processo de eutrofização dos corpos hídricos. Isto porque a urbanização desregrada contribui em grandes proporções para o agravamento do acesso de efluentes em ambientes aquáticos continentais diversos. Ao se considerar a seriedade do cenário mundial atual de eutrofização de corpos de águas continentais, são necessárias abordagens mais efetivas, dotadas de um arsenal tecnológico que contemple o problema desde sua origem até seu mais alto grau de comprometimento desses ecossistemas.

Com base nos resultados obtidos, percebemos que os processos de remediação e recuperação de corpos d'água doce continentais dependem de um conjunto de ações integradas e dirigidas à seus respectivos contextos. Métodos físicos e químicos têm impactos positivos e são utilizados em larga escala, mas não podem remediar profundamente a eutrofização devido a resultados de alto custo tanto financeiro quanto ambiental e resolução parcial dos impactos da eutrofização, bem como, alguns registros de efeitos secundários indesejáveis mediante o emprego de Phoslock® e algicidas.

Tecnologias amparadas em métodos biológicos são efetivas inclusive em larga escala, apresentam um baixo custo, são fáceis de manipular o que permite que pessoas não especializadas possam auxiliar na aplicação delas, podem ser combinadas com outras técnicas de remediação in situ, todavia em alguns casos a remediação ocorre de forma lenta, sendo extremamente importante as técnicas preventivas de eutrofização. Outra vantagem das técnicas biológicas é que elas podem ser utilizadas durante um longo período de tempo sem causar danos ao ecossistema. Importante destacar que são necessárias mais pesquisas sobre métodos biológicos e suas aplicações em diferentes ambientes lânticos.

No entanto, parece coerente que o entendimento prévio de um panorama geral de abordagens tecnológicas amparadas na literatura mundial, com graus específicos de êxitos em contextos específicos, seja positivo como ferramenta para análise e adoção de eventuais abordagens. Neste sentido, entendemos que o resultado deste trabalho contribui para um melhor entendimento das etapas de recuperação de ambientes aquáticos continentais eutrofizados por contemplar abordagens e técnicas efetivas, amparadas em concepções recentes, todavia, sendo necessário citar que em contexto de eutrofização de ambientes aquáticos continentais, cada caso é um caso.

Agradecimentos

Gostaríamos de prestar nossos agradecimentos à UFABC, especialmente aos colegas e professores dos PPGs CTA e BTC, aos organizadores do 6^oSSS, bem como, todos os demais envolvidos.

Referências Bibliográficas.

ABOUALI, M.; NEJADHASHEMI, A. P.; DANESHVAR, F.; ADHIKARI, U. et al. **Evaluation of wetland implementation strategies on phosphorus reduction at a watershed scale.** Journal of Hydrology, 552, p. 105-120, Sep 2017.

ÁLVAREZ-MANZANEDA, A. BAUN, L. CRUZ-PIZARRO, I. DE VICENTE. **Ecotoxicity screening of novel phosphorus adsorbents used for lake restoration,**Chemosphere,Volume 222,2019,Pages 469-478,ISSN 0045-6535,<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.103>.

BARCANTE, B.; NASCIMENTO, N.; SILVA, T.; REIS, L. et al. **Cyanobacteria dynamics and phytoplankton species richness as a measure of waterbody recovery: Response to phosphorus removal treatment in a tropical eutrophic reservoir.** Ecological Indicators, 117, OCT 2020 2020. Article.

BEKLIOĞLU, M.; BUCAK, T.; COPPENS, J.; BEZIRCI, G. et al. **Restoration of eutrophic lakes with fluctuating water levels: A 20-year monitoring study of two inter-connected lakes.** - 9, n. - 2, 2017.

ÇELEKLI, A., LEKESIZ, Ö. **Limno-ecological assessment of lentic ecosystems in the western Mediterranean basin (Turkey) using phytoplankton indices.** Environ Sci Pollut Res 28, 3719–3736 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10697-0>

ESTEVEES, F. A. (Coord.). **Fundamentos de limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência

GLIBERT, P.M., AND M.A. BURFORD. 2017. **Globally changing nutrient loads and harmful algal blooms: Recent advances, new paradigms, and continuing challenges.** Oceanography 30(1):58–69, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2017.110>.

GLIBERT, P. (2017). **Eutrophication, harmful algae and biodiversity — Challenging paradigms in a world of complex nutrient changes.** Marine Pollution Bulletin. 124. 10.1016/j.marpolbul.2017.04.027.

HUISMAN, J., CODD, G.A., PAERL, H.W. et al. **Cyanobacterial blooms.** Nat Rev Microbiol 16, 471–483 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1>

JEPPESEN, E.; TROLLE, D.; DAVIDSON, T.; BJERRING, R. et al. **Major changes in CO2 efflux when shallow lakes shift from a turbid to a clear water state.** Hydrobiologia, 778, n. 1, p. 33-44, SEP 2016 2016. Article|Proceedings Paper. JÚZA, T.; DURAS, J.; BLABOLIL, P.; SAJDLOVÁ, Z. et al. - **Recovery of the Velky Bolevecký pond (Plzen, Czech Republic) via biomanipulation – Key study for management.** - 136, p. - 176, 2019.

JEPPESEN E, SONDERGAARD M, LIU Z. Lake Restoration and Management in a Climate Change Perspective: An Introduction. **Water.** 2017; 9 (2): 122-130.

KHARE, Y.; NAJA, G. M.; STAINBACK, G. A.; MARTINEZ, C. J. et al. **A Phased Assessment of Restoration Alternatives to Achieve Phosphorus Water Quality Targets for Lake Okeechobee, Florida, USA.** Water, 11, n. 2, Feb 2019.

- LANG, P.; MEIS, S.; PROCHÁZKOVÁ, L.; CARVALHO, L. et al. - **Phytoplankton community responses in a shallow lake following lanthanum-bentonite application.** - 97, p. - 68, 2016.
- LUCENA-SILVA, D.; MOLOZZI, J.; SEVERIANO, J. D. S.; BECKER, V. et al. - **Removal efficiency of phosphorus, cyanobacteria and cyanotoxins by the “flock & sink” mitigation technique in semi-arid eutrophic waters.** - 159, p. - 273, 2019.
- LÜRLING, M.; KANG, L.; MUCCI, M.; VAN OOSTERHOUT, F. et al. - **Coagulation and precipitation of cyanobacterial blooms.** - 158, 2020.
- LÜRLING, M.; MACKAY, E.; REITZEL, K.; SPEARS, B. M. - **Editorial – A critical perspective on geo-engineering for eutrophication management in lakes.** - 97, p. - 10, 2016.
- OSUCH, E.; OSUCH, A.; PODSIADLOWSKI, S.; PIECHNIK, L. et al. **Project Of Coagulant Dispenser In Pulverization Aerator With Wind Drive.** Journal of Ecological Engineering, 18, n. 5, p. 192-198, Sep 2017.
- PANTANO, G.; FERREIRA, J. S.; AQUINO, F. W. B.; PEREIRA-FILHO, E. R. et al. - **Biosorbent, a promising material for remediation of eutrophic environments: studies in microcosm.** - 24, n. - 3, p. - 2696, 2017.
- POMPÊO, M. et al. (Org.). **Ecologia de Reservatórios e Interface.** São Paulo. Instituto de Biociências da USP. 2015.460p.
- POMPÊO, M. **Monitoramento e Manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros.** São Paulo. Instituto de Biociências da USP, 2017. 138p.
- RICHARDSON, J.; FEUCHTMAYR, H.; MILLER, C.; HUNTER, P. D. et al. - **Response of cyanobacteria and phytoplankton abundance to warming, extreme rainfall events and nutrient enrichment.** - 25, n. - 10, p. - 3380, 2019.
- SFRISO, A.; BUOSI, A.; TOMIO, Y.; JUHMANI, A. S. et al. - **Aquatic angiosperm transplantation: A tool for environmental management and restoring in transitional water systems.** - 11, n. - 10, 2019.
- SPEARS, B.; MACKAY, E.; YASSERI, S.; GUNN, L. et al. **A meta-analysis of water quality and aquatic macrophyte responses in 18 lakes treated with lanthanum modified bentonite (Phoslock (R)).** Water Research, 97, p. 111-121, JUN 15 2016 2016. Article.
- WU, J.; DAI, Y. R.; CHENG, S. P. **General trends in freshwater ecological restoration practice in China over the past two decades: the driving factors and the evaluation of restoration outcome.** Environmental Sciences Europe, 32, n. 1, Apr 2020.
- XIE, F.; SONG, K.; GENG, S.; LI, L. - **Phosphate sequestration and recovery from eutrophication water by in situ magnesium phosphate formation.** - 20, n. - 6, p. - 2236, 2020.
- YU, J. H.; ZHONG, J. C.; ZHANG, Y. S.; DING, H. et al. **Fine-scale remobilization of phosphorus by rooted macrophytes (Phragmites australis) growth in lake sediments: evidence from a holistic growth period simulation study.** Journal of Soils and Sediments, 20, n. 3, p. 1782-1792, Mar 2020.
- ZHANG, X.; TANG, Y.; JEPPESEN, E.; LIU, Z. **Bio-manipulation-induced reduction of sediment phosphorus release in a tropical shallow lake.** Hydrobiologia, 794, n. 1, p. 49-57, JUN 2017 2017. Article.
- ZHANG, X.; TAYLOR, W. D.; RUDSTAM, L. G. - **Herbivorous snails can increase water clarity by stimulating growth of benthic algae.** - 24, n. - 31, p. - 24707, 2017.

ZHONG, J.; WEN, S.; ZHANG, L.; WANG, J. et al. - **Nitrogen budget at sediment–water interface altered by sediment dredging and settling particles: Benefits and drawbacks in managing eutrophication.** - 406, 2021.

ZHOU, Q.; LI, L.; HUANG, L.; GUO, L. et al. - **Combining hydrogen peroxide addition with sunlight regulation to control algal blooms.** - 25, n. - 3, p. - 2247, 2018.

ZHOU, Q.; LIU, C.; FAN, C. - **Application of plow-tillage as an innovative technique for eliminating overwintering cyanobacteria in eutrophic lake sediments.** - 219, p. - 431, 2016.

ZHU, K.; WU, Y.; LI, C.; XU, J. et al. **Ecosystem-Based Restoration to Mitigate Eutrophication: A Case Study in a Shallow Lake.** Water, 12, n. 8, AUG 2020 2020. Article.

6º SSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

- PARTE IV -

Educação Ambiental

COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE UMA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO COM SISTEMA DE VEDAÇÃO: BLOCO CERÂMICO X BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO

| ID 18822 |

1Renan Flores da Costa, 2Cristian Dos Santos Aragão, 3Alex Gomes Pereira, 4Rafael Luis da Silva, 5Marcus Vinicius Oliveira Braga

1Centro Universitário São Lucas, e-mail: renanfc1998@gmail.com; 2Centro Universitário São Lucas, e-mail: cristian_sts@hotmail.com; 3Centro Universitário São Lucas, e-mail: alexgp885@gmail.com; 4Centro Universitário São Lucas, e-mail: planejamento.idaron@gmail.com; 5Centro Universitário São Lucas, e-mail: marcus.braga@saolucas.edu

Palavras-chave: Bloco cerâmico; Bloco de concreto celular autoclavado; Planilha orçamentária.

Resumo

O presente artigo trata de uma análise comparativa de custo de uma estrutura convencional projetada para cidade de Porto Velho/RO com dois tipos de sistema de vedações diferentes, sendo um de bloco cerâmico e o outro com bloco de concreto celular autoclavado (CCA). Para isto, foram projetadas duas estruturas de concreto armado com os diferentes tipos de carregamentos oriundos das alvenarias com os diferentes blocos do estudo em questão. Em sequência, quantificou-se todos os serviços inerentes à construção das estruturas e das vedações e comparou-se financeiramente a viabilidade de ambas. Foi utilizada a TCP014 para elaboração da planilha orçamentária. Os resultados encontrados indicam que o uso do bloco cerâmico (17,55% mais barato) é financeiramente mais viável quando comparado com o bloco de CCA.

Introdução

Com o recente crescimento do setor da construção civil, principalmente nos últimos anos, houve a necessidade das empresas e profissionais liberais buscarem meios que proporcionem a redução de custo de execução e, ao mesmo tempo, garantir que a estrutura seja segura, funcional, durável e sustentável, atendendo assim, as condições que são estabelecidas pelas novas normas de regulamentadoras que objetivam a sustentabilidade na utilização de materiais que estão sendo

escassos. Bem como, suprir as necessidades do mercado, o aumento dos meios que possam satisfazer o cliente e permitir assim que a empresa ou profissional atue, mesmo que seja em um mercado altamente concorrido, de forma mais eficaz.

Júnior (2005), descreve que a necessidade de se obter projetos cada vez mais complexos e sofisticados, a tarefa de reduzir gastos torna-se cada vez mais difícil. Ao mesmo tempo, os avanços tecnológicos propiciam o desenvolvimento de programas computacionais mais refinados, assim como novos materiais, por exemplo, o CCA que surge como uma alternativa promissora, pois este material possui uma estrutura porosa, o que resulta em um peso específico inferior quando comparado aos materiais cerâmicos convencionais. Essa redução de peso específico pode acarretar em economia de concreto e aço, na superestrutura e fundações, fato que possibilita que os projetos estruturais atendam os projetos arquitetônicos cada vez mais arrojados e modernos. Além disso, devido à baixa energia necessária para a sua fabricação e a grande expansão volumétrica em comparação ao volume das matérias-primas que o constituem, o CCA consome muito menos recursos naturais, tornando-se ambientalmente eficiente quando confrontado com outros tipos de materiais.

Dessa maneira, cabe aos engenheiros que atuam no projeto e na execução de estrutura manter a responsabilidade indeclinável frente à qualidade da resposta que sua obra dará aos quesitos de segurança, economia e eficiência. Segundo Kimura (2007) é um grande erro não utilizar softwares para elaboração de projetos estruturais. Para Nazário e Bento (2016), é necessário que o profissional em sua formação não tenha apenas teoria, mas também a prática do uso das tecnologias, pois o mercado impõe o uso de software em suas atividades profissionais.

Assim, a necessidade da entrada de softwares para elaboração de projetos estruturais que possibilitam analisar os resultados de forma global e abrangente, e que sejam mais próximos da realidade, tornando o uso de programas computacionais peças fundamentais e indispensáveis nos dias de hoje. A partir do contexto apresentado, este estudo se insere na continuidade do trabalho desenvolvido por Lacerda e Pereira (2017).

Lacerda e Pereira (2017) estudaram a comparação entre dois sistemas construtivos, alvenaria em bloco cerâmico e alvenaria em bloco vazado de concreto a fim de determinar qual é o mais rentável para as construções de edificações no município de Porto Velho, capital do estado de Rondônia (RO).

Com base nestas premissas, este trabalho tem por objetivo fazer um estudo comparativo de custos entre os dois sistemas, alvenaria de bloco cerâmico e alvenaria de CCA, por meio de cálculos executados pelo programa computacional, e, posteriormente, um orçamento com base nos preços indicados pelo Tabela de Composição de Preço para Orçamento 14ª Edição (TCPO 14) da Editora Pini.

Metodologia

Projeto arquitetônico

Neste trabalho foi utilizado um edifício residencial, sendo constituído por um pavimento térreo, três pavimentos tipos e cobertura, com área total de 208,97m² por pavimento, contendo quatro apartamentos por andar (apartamento com sala, cozinha, um banheiro e dois quartos, sendo um com varanda, com área total de 46,44m²), com distância de piso a piso de 2,88m para todos os pavimentos. As Figuras 1 e 2 apresentam o projeto arquitetônico.



Figura 1: Pavimento tipo.

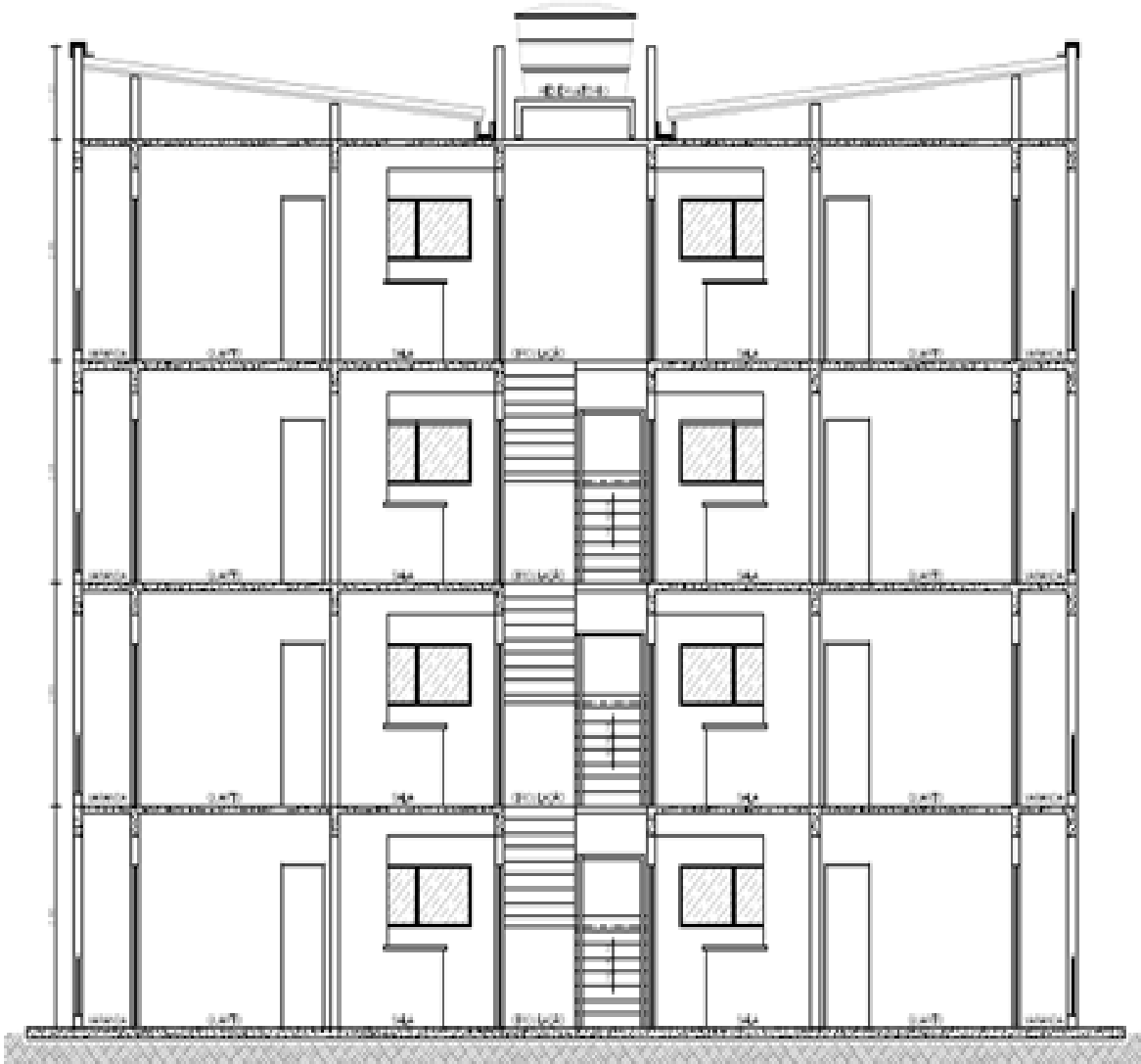


Figura 2: Corte A-A.

Objetivando avaliar os custos da edificação, foram especificados dois tipos: a) alvenaria de bloco cerâmico, 14x19x39 cm, com argamassa mista com cal hidratado, traço 1:2:8; b) alvenaria de vedação com bloco de CCA, sem função estrutural, 15x30x60 cm, junta de 10 mm, com argamassa mista de cimento, cal hidratado e areia sem peneirar, traço 1:2:9.

Dimensionamento estrutural

Com a finalidade de gerar resultados comparativos entre os sistemas de vedação (alvenaria de bloco vazado de concreto e a CCA) foi utilizado o software computacional CYPECAD. Foram dimensionadas duas estruturas, carregadas com os diferentes sistemas de vedações, com os

parâmetros de cálculo definidos pelas normas de regulamentação NBR 6120 (ABNT, 1980), NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6122 (ABNT, 2010). Considerou-se que os pesos específicos dos materiais empregados foram: 25kN/m^3 para o concreto armado; 13kN/m^3 para o bloco cerâmico e 5kN/m^3 para o bloco de CCA.

As cargas de revestimentos consideradas nos pavimentos tipo é de $1,2\text{kN/m}^2$ e na cobertura de 2kN/m^2 (impermeabilização, calhas, telhado, entre outros), com classe de agressividade ambiental II (moderada), localizado em espaço urbano, com risco pequeno de deterioração da estrutura.

Quanto às características do concreto e dos elementos estruturais, utilizou-se um concreto dosado em central com F_{ck} de 25MPa, com emprego de aço com resistência ao escoamento de 500 MPa e 600 MPa para as armaduras de todos os elementos, e cobrimentos de lajes, vigas, pilares e fundações de 2,5; 3,0; 3,0 e 4,0cm, respectivamente. Para o sistema de fundações, considerou-se uma tensão admissível do solo de $2,00\text{kgf/cm}^2$ e fundações superficiais do tipo sapata.

Como exigência da NBR 6123 (ABNT, 1988), foi considerada a ação do vento nessa edificação, já que essa ação implicará em efeitos de carregamento preponderantes. Retirou-se da referida norma, a velocidade básica do vento, que no caso é de 30m/s para a cidade de Porto Velho/RO. Essa velocidade é a máxima média medida sobre 3s, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, a 10m sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano, conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988). O prédio foi enquadrado na categoria IV: terreno coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Classificado como A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20m. E foi inserido no grupo 2: Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação. Com as medidas em planta e da altura total do prédio (12,72m), calculou-se o coeficiente de arrasto de baixa turbulência (parâmetro de cálculo adimensional que permite calcular a força de resistência ao ar) na direção "X" (1,03) e na direção "Y" (1,15).

Para o dimensionamento das estruturas do estudo de caso em questão, o software utilizado, o CYPECAD, a princípio executou-se o pré-lançamento da estrutura, informando ao programa as dimensões das peças estruturais, especificações dos materiais e as cargas atuantes na edificação. Para o pré-dimensionamento das estruturas com os diferentes sistemas de vedações, foram considerados todos os planos de laje maciça com espessura de 10cm (Figura 3), já que o carregamento oriundo dos diferentes tipos de alvenaria, em nenhum momento é aplicado sobre as lajes.

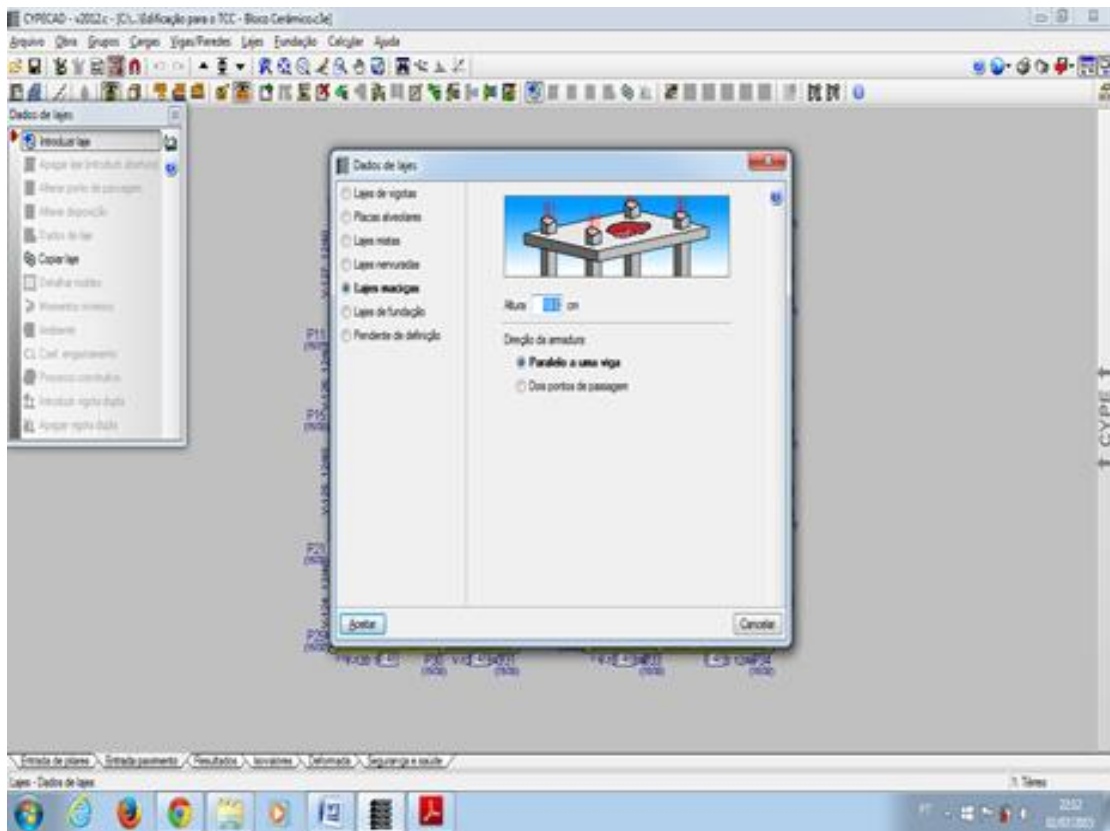


Figura 3: Especificação das lajes.

As vigas da estrutura com carregamento de alvenaria com bloco cerâmico, tiveram seções de 12x40cm, e as vigas da estrutura carregada com bloco de CCA, tiveram seções constantes de 12x30cm, já que a última possui carregamento bastante inferior à primeira (Figura 4).

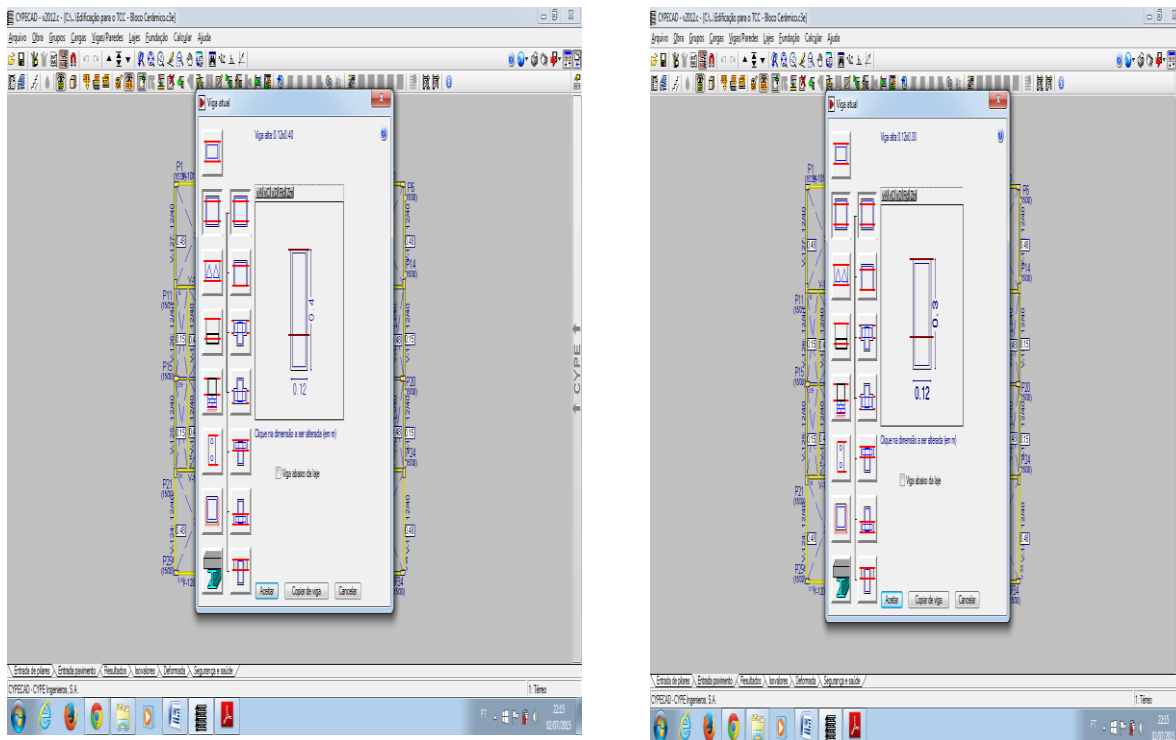


Figura 4: Seções das vigas para os diferentes tipos de vedações.

A carga de alvenaria de bloco cerâmico aplicado às vigas foi de: $1,3\text{tf/m}^3$ (peso específico do bloco) x $0,15\text{m}$ (espessura da parede) x $2,48\text{m}$ (altura de piso a piso – altura da viga) = $0,48\text{tf/m}$. A carga de alvenaria de bloco de concreto celular autoclavado: $0,5\text{tf/m}^3$ (peso específico do bloco) x $0,15\text{m}$ (espessura da parede) x $2,58\text{m}$ (altura de piso a piso – altura da viga) = $0,19\text{tf/m}$.

Os pilares de ambas as estruturas foram pré-dimensionados com seções de $15 \times 30\text{cm}$ e $15 \times 40\text{cm}$. As sapatas (fundações rasas) têm seções obtidas automaticamente, conforme os carregamentos oriundos dos pilares.

Comparação orçamentária

Com o objetivo de comparar os resultados dos sistemas construtivos, foram desenvolvidas planilhas orçamentárias com as composições dos serviços e respectivos preços para essa análise. Para isto, foram utilizados os dados do TCPO 14 da Editora Pini.

Resultados e discussões

As Tabelas 1 e 2 apresentam as planilhas dos sistemas de vedação bloco cerâmico e CCA, respectivamente.

Tabela 1: Planilha com a execução da estrutura e da vedação com bloco cerâmico.

Movimentação de terra					
Item	Descrição da Composição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01	Escavação manual de vala em solo de 1ª categoria (profundidade até 2,00m).	m ³	122,15	R\$ 27,61	R\$ 3.372,56
02	Apiloamento de fundo de vala com maço de 30kg.	m ²	63,40	R\$ 10,35	R\$ 656,19
03	Reaterro manual de vala.	m ³	95,71	R\$ 3,11	R\$ 297,66
04	Carga manual de terra em caminhão basculante.	m ³	114,86	R\$ 8,39	R\$ 963,68
05	Transporte e descarga de terra em caminhão basculante de 6m ³ , distância de até 20km.	m ³	114,86	R\$ 32,27	R\$ 3.706,53
Preço Total					R\$ 8.996,62
Fundações					
Item	Descrição da Composição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01	Concreto não estrutural, preparo com betoneira.	m ³	3,17	R\$ 232,63	R\$ 737,44
02	Fôrma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafo.	m ²	168,78	R\$ 93,66	R\$ 15.807,94
03	Armadura de aço para estrutura em geral CA-50, corte e dobra na obra.	kg	907,20	R\$ 5,91	R\$ 5.361,55
04	Armadura de aço para estrutura em geral CA-60, corte e dobra na obra.	kg	88,80	R\$ 6,59	R\$ 585,19
05	Concreto estrutural dosado em central, fck = 25,00MPa, sem bombeamento.	m ³	26,43	R\$ 327,87	R\$ 8.665,60
06	Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em fundação.	m ³	26,43	R\$ 40,95	R\$ 1.082,31
Preço Total					R\$ 32.240,03
Estrutura					
Item	Descrição da Composição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01	Fôrma com chapa compensada resinada, e=12mm, para pilares, vigas e lajes, incluso contraventamento e escoramento com pontaletes de 7,5x7,5cm, 5 aproveitamentos.	m ²	1.581,69	R\$ 34,70	R\$ 54.884,64
02	Armadura de aço para estrutura em geral CA-50, corte e dobra na obra.	kg	7.857,60	R\$ 5,91	R\$ 46.438,42
03	Armadura de aço para estrutura em geral CA-60, corte e dobra na obra.	kg	1.964,40	R\$ 6,59	R\$ 12.945,40
04	Concreto estrutural dosado em central, fck = 25,00MPa, sem bombeamento.	m ³	129,16	R\$ 327,87	R\$ 42.347,69

05	Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura.	m ³	129,16	R\$ 51,31	R\$ 6.627,20
Preço Total		R\$ 163.243,35			
Alvenaria					
Item	Descrição da Composição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01	Alvenaria de bloco cerâmico, 14x19x39cm, argamassa mista com cal hidratado, traço 1:2:8, espessura = 14,00cm	m ²	1.660,61	R\$ 27,62	R\$ 45.866,04
Preço Total		R\$ 45.866,04			
Preço Total					R\$ 250.346,05

Tabela 2: Planilha com a execução da estrutura e da vedação com bloco de CCA.

Movimentação de terra					
Item	Descrição da Composição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01	Escavação manual de vala em solo de 1ª categoria (profundidade até 2,00m).	m ³	96,72	R\$ 27,61	R\$ 2.670,44
02	Apiloamento de fundo de vala com maço de 30kg.	m ²	52,20	R\$ 10,35	R\$ 540,27
03	Reaterro manual de vala.	m ³	76,44	R\$ 3,11	R\$ 237,73
04	Carga manual de terra em caminhão basculante.	m ³	91,73	R\$ 8,39	R\$ 769,62
05	Transporte e descarga de terra em caminhão basculante de 6m ³ , distância de até 20km.	m ³	91,73	R\$ 32,27	R\$ 2.960,13
Preço Total					R\$ 7.178,18
Fundações					
Item	Descrição da Composição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01	Concreto não estrutural, preparo com betoneira.	m ³	2,61	R\$ 232,63	R\$ 607,16
02	Fôrma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafo.	m ²	130,26	R\$ 93,66	R\$ 12.200,15
03	Armadura de aço para estrutura em geral CA-50, corte e dobra na obra.	kg	756,60	R\$ 5,91	R\$ 4.471,51
04	Armadura de aço para estrutura em geral CA-60, corte e dobra na obra.	kg	78,40	R\$ 6,59	R\$ 516,66
05	Concreto estrutural dosado em central, fck = 25,00MPa, sem bombeamento.	m ³	20,28	R\$ 327,87	R\$ 6.649,20

06	Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em fundação.	m ³	20,28	R\$ 40,95	R\$ 830,47
Preço Total					R\$ 25.275,15
Estrutura					
Item	Descrição da Composição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01	Fôrma com chapa compensada resinada, e=12mm, para pilares, vigas e lajes, incluso contraventamento e escoramento com pontaletes de 7,5x7,5cm, 5 aproveitamentos.	m ²	1.467,49	R\$ 34,70	R\$ 50.921,90
02	Armadura de aço para estrutura em geral CA-50, corte e dobra na obra.	kg	7.131,20	R\$ 5,91	R\$ 42.145,39
03	Armadura de aço para estrutura em geral CA-60, corte e dobra na obra.	kg	1.782,80	R\$ 6,59	R\$ 11.748,65
04	Concreto estrutural dosado em central, fck = 25,00MPa, sem bombeamento.	m ³	121,80	R\$ 327,87	R\$ 39.934,57
05	Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura.	m ³	121,80	R\$ 51,31	R\$ 6.249,56
Preço Total					R\$ 151.000,07
Alvenaria					
Item	Descrição da Composição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01	Alvenaria de vedação com bloco de concreto celular autoclavado, sem função estrutural, 15x30x60 cm, espessura da parede 15cm, juntas 10mm, com argamassa mista cimento, cal hidratado e areia sem peneirar, traço 1:2:9	m ²	1.727,57	R\$ 64,15	R\$ 110.823,62
Preço Total					R\$ 110.823,62
Preço Total					R\$ 294.277,01

Analisando os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2, percebe-se que ao utilizar o sistema construtivo em bloco de CCA, houve uma economia significativa de 25,33%, 27,56% e 8,11% com os custos de movimentação de terra, infraestrutura e superestrutura, respectivamente, quando comparado com o sistema de vedação com bloco cerâmico. Quanto aos custos referentes à alvenaria é possível verificar que o bloco cerâmico é 141,62% mais barato quando confrontado com a alvenaria

com bloco de CCA. A partir disto, é possível concluir que a etapa que pode tornar o sistema construtivo construído com bloco de CCA menos viável economicamente é a alvenaria.

Para melhor compreensão dos custos finais, fez-se a diferença percentual entre os custos totais de ambos materiais. A partir dessa comparação, verifica-se que o sistema construtivo com alvenaria de bloco cerâmico é 17,55% mais barato que o sistema construtivo com bloco CCA. Estes resultados estão em conformidade com a literatura especializada. Fonseca (2017) explica que o CCA exige um processo de fabricação mais elaborado e matérias-primas mais caras, o que resulta em uma alvenaria mais cara quando comparado com a de bloco cerâmico.

Comentários finais

Na atualidade, as empresas de engenharia tentam reduzir ao máximo os custos com material e mão-de-obra na construção de uma edificação, sem perder a qualidade e o desempenho da mesma. Com isso, a busca de novas tecnologias e técnicas construtivas se faz cada vez mais necessárias a fim de reduzir os gastos de uma determinada construção. Neste contexto, o presente estudo avaliou dois sistemas construtivos (bloco cerâmico e bloco CCA) com o propósito de verificar qual dos sistemas apresenta maior viabilidade financeira.

Com base nos resultados analisados, concluiu-se que o sistema construído com bloco cerâmico apresentou menor custo final. É importante ressaltar que este trabalho consiste num estudo de caso, não podendo ser generalizado para qualquer tipo de edificação sem que antes se faça uma análise prévia, visto que uma edificação depende de um grande número de variáveis.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

Fonseca, H. F. **Análise comparativa entre bloco cerâmico e bloco de concreto celular autoclavado, como alvenaria de vedação, no custo de uma edificação em concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

Júnior, S. J. R. **Otimização de pilares de edifícios altos de concreto armado**. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

Kimura, A. E. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo: Pini, 2007.

Lacerda, M. L.; PEREIRA, A. G. Análise Comparativa de Sistema de Alvenaria Bloco Cerâmico x Bloco Vazado de Concreto. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 9, n. 3, p. 234-251, 2017.

Nazario, L. C. S.; BENTO, F. A. Importância do uso de softwares de gerenciamento de projetos na formação do aluno de engenharia civil. **In: Congresso Regional sobre Tecnologias na Educação**, 1, Natal, 2016. CEUR Workshop Proceedings. Natal: Universidade Federal da Paraíba-Campus IV, 2016.

A INFLUÊNCIA DOS SERVIÇOS BÁSICOS, DE ACESSO A ÁGUA TRATADA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO, NA QUALIDADE DE VIDA E NO DESEMPENHO DO TRABALHADOR

| ID 18844 |

Jaqueline Ramos Grabasck

1 Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: jaquegrabasck@gmail.com

Palavras-chave: Água tratada; Esgoto sanitário; Desempenho no trabalho.

Resumo

Parâmetros que apresentam premissas a fim de determinar o sistema de saúde pública e a implantação de um sistema de saneamento básico interferem diretamente na qualidade de vida do ser humano. No mundo inteiro, milhares de moradias não apresentam serviços básicos, sendo que estes deveriam ser garantidos pelo direito fundamental do cidadão. Condições de moradia digna abrangem o cuidado e manutenção da saúde, além da preservação do meio ambiente.

O Brasil é composto por 5.570 municípios, apresentando uma população estimada de 211.755.692 habitantes, sendo que, 99,7% destes habitantes contam com iluminação elétrica em seus domicílios, 84,4% com coleta de resíduos direta, 85,5% dos domicílios apresentam rede geral como forma de abastecimento de água e 68,3% possuem esgotamento sanitário, constituída por rede geral ou fossa séptica liga à rede.

Apesar de o Governo ter obrigatoriedade em fornecer condições dignas para a existência do ser humano, as empresas também podem investir em melhores ambientes de trabalho, moradia e no ambiente urbano, a fim de elevar os cuidados com a saúde física e mental dos trabalhadores.

Esta pesquisa partiu do levantamento de referencial bibliográfico, mediante a coleta de dados, referentes ao cenário atual e a importância da qualidade de vida tanto no ambiente de moradia como no ambiente de trabalho, a fim de avaliar a influência que as condicionantes de saneamento básico e água tratada nos domicílios têm no desempenho do trabalhador.

O esgotamento sanitário adequado deve contar com coleta de esgotos, seguida de tratamento ou mediante o uso de fossa séptica, neste caso, utiliza-se um sistema de pós-tratamento ou uma unidade de disposição final.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017, apenas 3.206 municípios contam com serviço de saneamento básico, tendo 153 municípios em fase de implantação e 2.211 municípios

sem serviço de esgotamento sanitário. Estando os menores índices, nas regiões Norte e Centro-Oeste, com 16,2% e 43%, respectivamente. Os municípios que apresentam mais de 500.000 habitantes apresentam maiores índices de cobertura por rede coletora de esgoto.

Já o processo de abastecimento de água por rede geral de distribuição inicia com a retirada da água bruta da natureza, por meio da captação, realiza-se a adequação da qualidade da água, mediante o tratamento, faz-se o armazenamento em reservatório e parte-se para a distribuição à população.

O abastecimento de água tratada apresenta índices mais animadores, pois 5.517 municípios apresentam rede geral de distribuição de água em funcionamento, 9 municípios encontram-se em fase de implantação, 22 municípios encontram-se em situação de paralisação e 22 municípios apresentam-se sem serviço de abastecimento de água. As regiões Sul e Sudeste apresentam abastecimento de água em 100% de seus municípios, enquanto que a região Norte apresenta o menor índice de abastecimento, sendo 98,4%.

Desta maneira, pode-se afirmar que o investimento em moradias e sistemas urbanos adequados podem otimizar a qualidade de vida dos seres humanos. Pois qualidade de vida não é representada por um parâmetro universal, mas que qualifica-se conforme as necessidades de cada ser humano.

A implantação de um sistema de esgotamento sanitário agrega valor nos aspectos: higiênico, social e econômico. Em termos de higiene tem-se por objetivo o controle e a erradicação de doenças que apresentam veiculação hídrica, e, conseqüentemente, aumentam os índices de mortalidade. Com relação aos aspectos sociais pretende-se obter melhorias na qualidade de vida da população, por meio da eliminação de odores e qualificando o entorno, com o intuito de criar áreas de recreação, esportes e lazer para a comunidade. Enquanto que em termos econômico observa-se um aumento na produtividade em geral, pois com a implantação do sistema há melhoria no meio ambiente, gera-se proteção para as atividades agropastoril e aumenta a produtividade dos trabalhadores em geral.

Introdução

O ano de 2020 foi marcado pela pandemia do covid-19, que atingiu todos os continentes e levou a mortandade de milhões de pessoas. Sendo que a única forma de se proteger até então, é redobrando os cuidados com a higiene e evitando aglomerações de pessoas.

Entretanto, milhares de pessoas, não só no Brasil, mas no mundo inteiro, precisam utilizar transportes públicos para se deslocar até o seu trabalho, a fim de garantir o sustento e a sobrevivência de suas famílias. Porém, este percurso, que diariamente, acarreta em aglomerações no transporte público, coloca em risco a saúde de toda a população.

Além do agravante do transporte público, muitas pessoas encontram-se em situação de vulnerabilidade social, com residências em beiras de arroios e de córregos que recebem esgotamento sanitário, sem o devido tratamento. Assim como o precário sistema de esgotamento, o acesso a água tratada, também não é uma realidade na vida de muitos brasileiros.

Desta maneira, surgiu a preocupação de como podemos mudar a situação destas pessoas que encontram-se com a saúde em risco. Visando uma resposta mais imediata, este artigo tem o foco no empreendedor e em empresas que podem subsidiar políticas para qualificação social, visando promover a qualidade de vida para os mais necessitados.

Parâmetros básicos podem ser observados na determinação da qualidade de vida do ser humano, desde premissas que determinam o sistema de saúde pública até a implantação de um sistema de saneamento básico. De forma que, a eficácia destes sistemas interfere diretamente na qualidade de vida do ser humano.

O abastecimento de água e o esgotamento sanitário são essenciais para garantir condições dignas de moradia, cuidado e manutenção da saúde, e preservação do meio ambiente, de maneira que a carência e a desigualdade de acesso destes sistemas está diretamente relacionada a vulnerabilidade social. Não apenas no Brasil, mas no mundo inteiro, milhares de seres humanos encontram-se em domicílios que não apresentam serviços básicos, sendo que estes são sistemas que deveriam ser garantidos pelo direito fundamental do cidadão (PNSB-IBGE, 2020).

O Brasil apresenta em seu território 5.570 municípios, abrangendo uma população estimada de 211.755.692 habitantes (IBGE, 2020), sendo que destes, 99,7% conta com iluminação elétrica em seus domicílios (IBGE, 2015), 84,4% conta com coleta de resíduos direta (IBGE, 2019), 85,5% dos domicílios apresentam rede geral como forma de abastecimento de água (IBGE, 2019), e apenas 68,3% dos domicílios possuem esgotamento sanitário (IBGE, 2019), sendo esta composta por rede geral ou fossa séptica ligada à rede.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) (2019) ressalta que a ausência de saneamento adequado e a falta de higiene acarretam em impactos negativos na saúde da população, apresentando grande relevância, o uso de água de baixa qualidade e o saneamento precário existente em diversos municípios. Sendo evidente a relação do acesso ao saneamento com a incidência de internações por doenças, de maneira que quanto maior for o acesso ao saneamento básico, menores serão os índices de internações pelo acesso inadequado ao saneamento ambiental (ABES, 2019).

Já Brandão (s.d.) complementa que o bem-estar individual está diretamente relacionado as condições econômicas, sociais e culturais, sendo de obrigatoriedade do Governo garantir que o ser humano usufrua deste direito.

Apesar de ser obrigação do Governo de fornecer condições dignas para existência do ser humano, cabe questionar a responsabilidade das empresas em fornecer também um ambiente de trabalho digno e saudável ao trabalhador. Sendo que não apenas o ambiente de trabalho, mas também a moradia pode vir a influenciar na saúde e no bem estar dos seres humanos.

Brandão (s.d.) reforça que o ambiente de trabalho não abrange apenas o ambiente interno da fábrica ou empresa, mas também, o local de moradia e o próprio ambiente urbano, sendo fatores determinantes na saúde física e mental, no comportamento e nos valores do trabalhador.

Apesar da ideia de que a vivência próxima a natureza, garante um estilo de vida mais saudável. Lopes (2010) afirma que o acesso a terra, referindo-se a assentamentos rurais, não condiz necessariamente com condições de vida digna, pois faz-se necessário a implantação de políticas públicas, que visem a produção, a geração de renda e o acesso a saúde, a educação e ao saneamento básico. Cabe ressaltar que a autora reforça a importância dos pilares da sustentabilidade, mediante ao manejo consciente dos recursos naturais.

O saneamento básico e o acesso a água tratada influenciam diretamente na saúde e no bem estar dos seres humanos e, conseqüentemente, na sua qualidade de vida. Neste contexto, esta pesquisa tem o intuito de questionar a influência acarretada pelos serviços básicos encontrados nas moradias, no viés do ambiente de trabalho. Apresentando como objetivo geral:

- Identificar a influência que o ambiente de moradia exerce sobre o ser humano em seu ambiente de trabalho.

E como objetivos específicos:

- Identificar a importância do esgotamento sanitário na qualidade de vida dos seres humanos;
- Identificar a influência da água tratada no ambiente de moradia e no ambiente de trabalho;
- Identificar os fatores que influenciam no desempenho do trabalhador.

Materiais e Métodos

O desenvolvimento desta pesquisa deu-se mediante o levantamento de referencial bibliográfico, com coleta de dados com o intuito de apresentar o cenário atual e reforçar a importância da qualidade de vida, tanto no ambiente de moradia, como no ambiente de trabalho. O referencial bibliográfico foi obtido por meio de pesquisas nos sites scholar.google.com, scielo.br, teses.usp.br, books.google.com.br, através de artigos científicos, dissertações de mestrados e teses de doutorados, que apresentam relevância para o tema estudado. E, também, em sites que apresentam índices de levantamento de dados confiáveis, como, Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE) e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, desenvolvido pelo Ministério do Desenvolvimento Regional.

A pesquisa divide-se em: Introdução, onde é apresentado um panorama geral da situação dos sistemas básicos no território nacional; Metodologia, onde apresenta-se a forma de desenvolvimento da pesquisa; Esgotamento sanitário, traz dados referentes as instalações sanitárias nas regiões brasileiras, identificando os elementos básicos para o seu correto funcionamento; Água tratada, apresenta-se um panorama dos municípios que apresentam sistemas que distribuição de água tratada em todo o território brasileiro; Ambiente de trabalho, identifica as premissas para o desenvolvimento de um ambiente de trabalho que vise a qualidade de vida do trabalhador e o desenvolvimento da sociedade como um todo; nos Resultados são apresentadas as informações levantadas pelos autores, a fim de concluir a significância de cada um dos relatos e dados analisados; e a Conclusão, que apresenta um fechamento da pesquisa, identificando o atendimento ou não dos objetivos apresentados inicialmente.

Esgotamento sanitário

Segundo Nuvolari (2011), com a ocupação das cidades nos tempos antigos, a coleta das águas servidas, conhecidas, atualmente, como esgoto sanitário, já era considerada uma preocupação para as populações, passando por galerias até ligações diretas das residências com os canais. O crescimento das cidades e a falta de cuidado com o esgotamento sanitário foram responsáveis pelas grandes epidemias que assombraram a Europa entre os séculos XIII e XIX, como, por exemplo, a peste bubônica, resultando em 43 milhões de mortes (NUVOLARI, 2011).

Atualmente, a definição de esgotamento sanitário dá-se pela NBR 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário (ABNT, 1986), que apresenta esgoto sanitário como “*Despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária*” (ABNT, 1986:01). Definindo esgoto doméstico como “*Despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas*” (ABNT, 1986:01).

Para o esgotamento sanitário apresentar um abastecimento adequado deve-se contar com a coleta de esgotos, seguida de tratamento ou mediante o uso da fossa séptica, sendo que ao utilizar a fossa séptica deve-se utilizar um sistema de pós-tratamento ou uma unidade de disposição final, de forma que estes sejam projetados e construídos adequadamente (PNSB-IBGE, 2020).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017 apresenta os índices de esgotamento sanitário por rede coletora, sendo que, nenhuma das regiões brasileiras apresenta o percentual de 100% em seus municípios. A figura 01 apresenta todas as regiões brasileiras, sendo que apenas 3.206

municípios apresentam serviço de esgotamento sanitário em funcionamento, enquanto que, 153 municípios encontram-se em fase de implantação e 2.211 encontram sem serviço de esgotamento sanitário. Sendo que as regiões Norte e Centro-Oeste apresentam os menores índices, com 16,2% e 43% respectivamente. Enquanto que, a região Sul apresenta 44,6%, seguida pela região Nordeste com 52,7% e pela região Sudeste com maior índice, apresentando 96,5% (PNSB-IBGE, 2020).

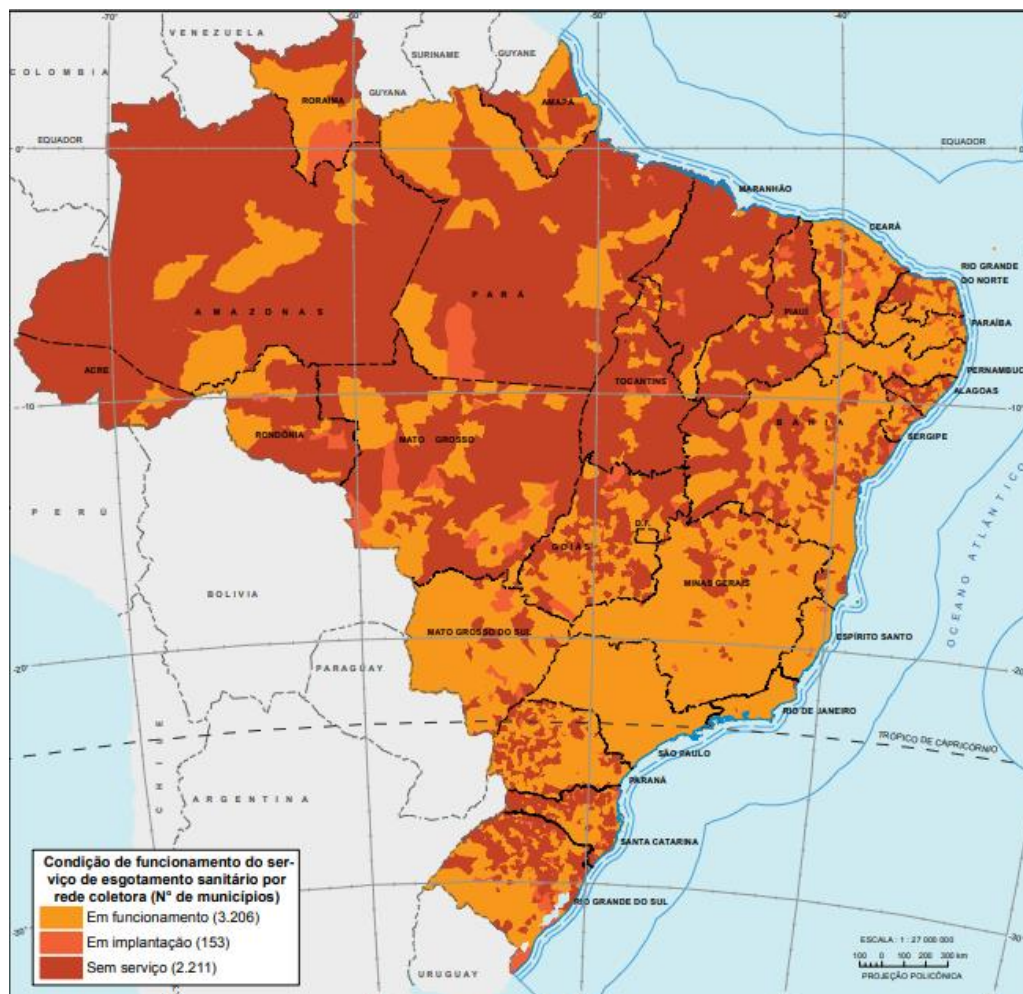


Figura 1 - Condições de funcionamento do serviço de esgotamento sanitário por rede coletora nos municípios brasileiros.

Fonte: PNSB – IBGE, 2020

Entende-se por coleta de esgoto por rede, a transferência do esgoto por meio de tubulação fechada até a estação de tratamento ou o ponto de lançamento final, sendo que a estação de tratamento é composta por instalações e equipamentos, constituídos por “grade, caixa de areia, decantador primário, lodo ativado e/ou filtro biológico, decantador secundário e secagem de lodo proveniente de decantadores” (PNSB-IBGE, 2020:55). Os municípios mais populosos apresentam os

maiores índices de cobertura por rede coletora de esgoto, ou seja, os municípios que apresentam mais de 500.000 habitantes (PNSB-IBGE, 2020).

A Figura 02 apresenta as etapas pelas quais o esgoto passa para efetuar o seu tratamento antes da água tratada ser devolvida a natureza.

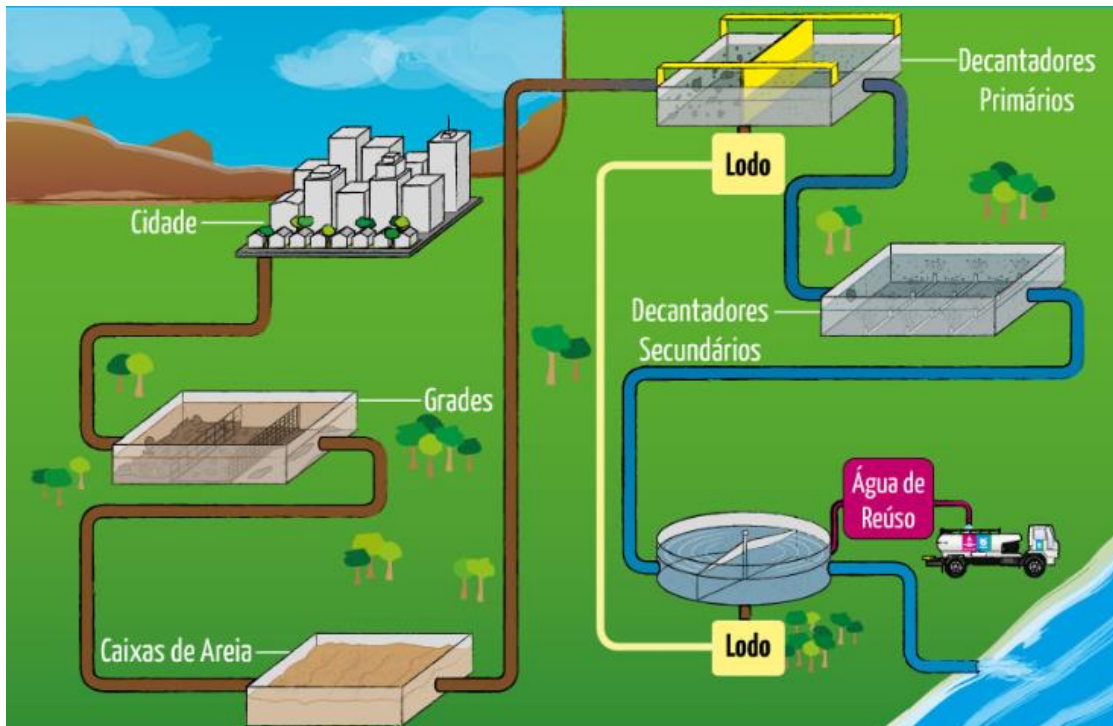


Figura 2 - Estação de tratamento de esgoto.
Fonte: SABESP, s.d.

Neste contexto, é possível observar que áreas com maior desenvolvimento urbano tendem a apresentar um melhor funcionamento do sistema de esgotamento sanitário. O que ressalta a importância do investimento em moradias adequadas, com o intuito de otimizar a qualidade de vida dos seres humanos, pois os centros urbanos tendem a ser um chamariz para pessoas advindas do meio rural, em busca de condições melhores de sobrevivência.

Água tratada

O Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) caracteriza o atendimento adequado de abastecimento de água, como, “fornecimento de água potável por rede de distribuição ou por poço, nascente ou cisterna, com canalização interna, em qualquer caso, sem intermitências” (PNSB-IBGE, 2020:08).

O abastecimento de água por rede geral de distribuição ocorre mediante a retirada da água bruta da natureza, através do processo denominado captação, faz-se a adequação de sua qualidade, por meio do processo de tratamento, realiza-se o seu armazenamento em reservatório, antes de enviá-la para distribuição à população (PNSB-IBGE, 2020).

A Figura 03 apresenta o processo de tratamento que a água passa após ser coletada, para tornar-se própria para consumo. Este tratamento tem por intuito adequar a qualidade da água, mediante a adição de cloro, que será um facilitador no processo de retirada da matéria orgânica e dos metais; no processo de pré-alcalinização, com a adição de cal e soda, para ajustar o pH da água; e no processo de coagulação, com a adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, com o intuito de separar as partículas de sujeira.

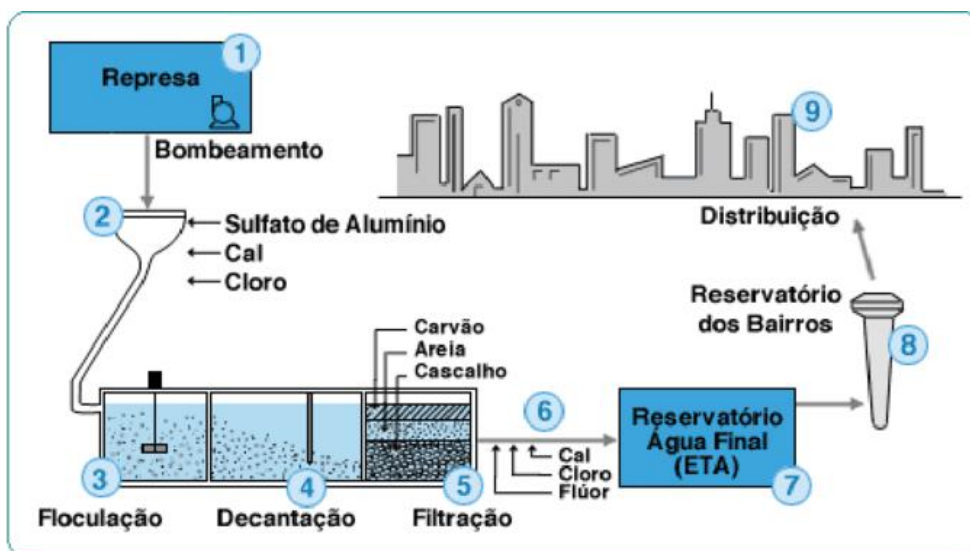


Figura 3 - Processo de tratamento de água

Fonte: SABESP, s.d.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017 apresenta as condições de funcionamento de abastecimento de água nos municípios brasileiros, apresentados na Figura 04, indicando que 5.517 municípios apresentam rede geral de distribuição de água em funcionamento, enquanto 9 municípios encontram-se em situação de implantação, em contraponto, 22 municípios apresentam-se em situação de paralisação, assim como, 22 municípios encontram-se sem serviço de abastecimento de água, devido, principalmente, a ocorrência de secas nas regiões. Conforme a imagem, pode-se observar que apenas as regiões Sul e Sudeste contam com abastecimento de água em 100% dos municípios, seguidas pela região Centro-Oeste com 99,6%, pela região Nordeste com 99,3% e finalizando com a região Norte com 98,4% (PNSB-IBGE, 2020).

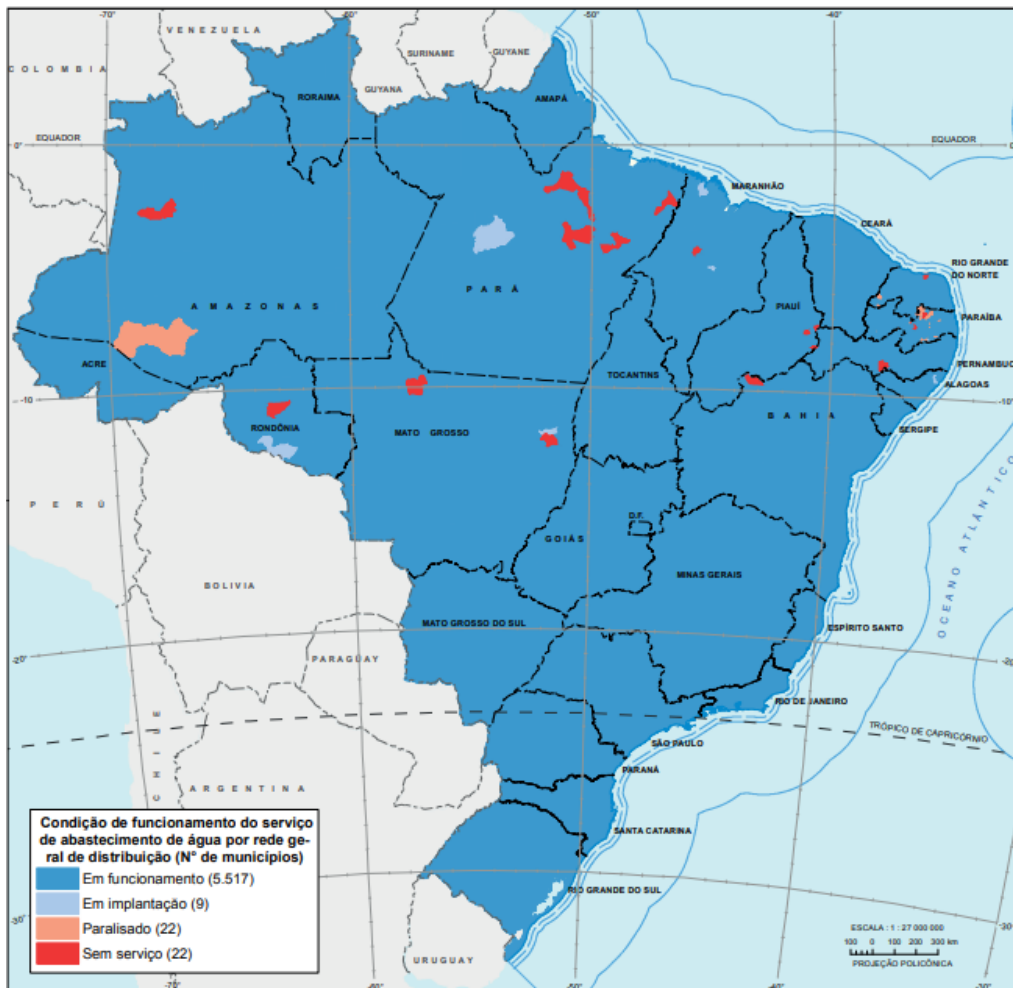


Figura 4 - Condições de funcionamento do serviço de abastecimento de água nos municípios brasileiros.

Fonte: PNSB - IBGE, 2020

O desenvolvimento socioeconômico está diretamente relacionado a quantidade e a qualidade da água distribuída, podendo afetar a saúde e o bem estar dos seres humanos, além de apresentar uma importante melhoria nas condições de vida, por meio do controle e da prevenção de doenças, hábitos higiênicos adequados, aumento da expectativa de vida, assim como, da produtividade econômica (LOPES, 2010).

Em contraponto ao sistema de esgotamento sanitário, o funcionamento dos serviços de abastecimento de água tratada nos municípios brasileiros apresenta um desempenho satisfatório, atendendo mais de 99% dos municípios brasileiros. Sendo isto fundamental para garantir hábitos de higiene adequados e consumo, conforme as necessidades básicas de cada ser humano.

Ambiente de trabalho

De acordo com Brandão (s.d.), em 1802, na Inglaterra, surgiram as primeiras legislações que visavam a proteção dos trabalhadores, porém em 1948 o marco fundamental deu-se pela aprovação da Declaração Universal dos Direitos Humanos da Organização das Nações Unidas (ONU), possibilitando debates internacionais que incorporavam a dignidade com fundamento dos direitos humanos.

Martins et al (2017) ressaltam que antes da Revolução Industrial, os mecanismos de motivação abrangiam punições, de caráter psicológico e, também, financeiro. Com o passar do tempo e estudos sobre motivações, concluiu-se que o maior motivador é o dinheiro, que no decorrer do processo passa de incentivo para um direito do trabalhador.

Os autores ainda apresentam a Teoria de Maslow, desenvolvida por Abraham Maslow em 1943, que objetiva apresentar uma equivalência de valores para as necessidades humanas, classificando-as conforme os seguintes grupos: fisiológico, segurança, social, estima e realização. A classificação das necessidades apresenta-se da seguinte maneira:

- Fisiológico – compreende as necessidades que abrangem a falta de alimentação, água, descanso, vitalidade e as demais relacionadas a sobrevivência do ser humano;
- Segurança – relacionada ao perigo real ou imaginário de óbito, estando também associada a sobrevivência;
- Social – compreende a relação entre pessoas. Ao obter os atributos fisiológicos e de segurança, o ser humano busca por relações consolidadas;
- Estima – relaciona-se diretamente com o ego. Após atender as necessidades sociais, o ser humano busca na autoestima e no orgulho, pontos de diferenciação;
- Realização – refere-se a busca realizada pelo próprio ser humano para atingir o seu melhor.

Entretanto, apenas em 1966 que as premissas ganharam uma dimensão mais ampla com a celebração do Pacto Internacional sobre os Direitos Econômicos, Sociais e Culturais, desenvolvido pela Organização das Nações Unidas, vindo a solidificar a premissa de que “*o trabalho é feito para o homem e não o homem para o trabalho*” (BRANDÃO, s.d.:90), reforçando a ideia de que o ser humano não representa um instrumento de produção.

Já em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Rio 92), veio para reforçar a importância da implementação do desenvolvimento sustentável, dando destaque a proteção ao meio ambiente de trabalho, ao meio ambiente conexo e ao desenvolvimento econômico e social (BRANDÃO, s.d.).

De acordo com Nobre (1995), a qualidade de vida é um objetivo a ser alcançado, com o estágio de desenvolvimento que a humanidade se encontra. Sendo definida da seguinte maneira:

“É mais uma questão de qualidade a ser buscada dentro dos programas de qualidade total dentro das empresas. É o tempo de trânsito e as condições de tráfego, entre o local de trabalho e a moradia. É a qualidade dos serviços médico-hospitalares. É a presença de áreas verdes nas grandes cidades. É a segurança que nos protege dos criminosos. É a ausência de efeitos colaterais de medicamentos de uso crônico. É a realização profissional. É a realização financeira. É usufruir do lazer. É ter cultura e educação. É ter conforto. É morar bem. É ter saúde. É amar. É, enfim, o que cada um de nós pode considerar como importante para viver bem” (Nobre, 1995:299).

Mediante as definições apresentadas por Nobre (1995), fica evidente que a qualidade de vida não apresenta um parâmetro universal, mas que qualifica-se conforme a necessidade de cada ser humano. Tendo como importante premissa, locais de trabalho e de moradia adequados para o desenvolvimento de cada atividade.

Resultados

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017 (PNSB-IBGE, 2020) apresenta o percentual de abastecimento de água por rede de distribuição e o esgotamento sanitário por rede coletora em cada uma das regiões brasileiras e um índice geral para o Brasil, conforme apresentado na Figura 05.

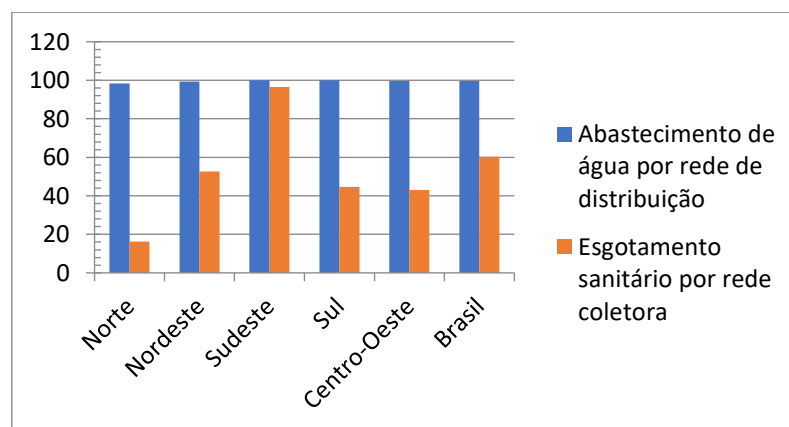


Figura 5 - Índice de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no Brasil.
Fonte: Elaborado pela autora, baseando-se em dados de PNSB - IBGE, 2020

Os baixos índices de esgotamento sanitário por rede coletora indicam um grande descarte de rejeitos sanitários de forma inadequada, caracterizando em sua maioria, por despejo a céu aberto, que reforça o aumento de doenças nas populações, principalmente, as que se encontram em situação de vulnerabilidade social.

Lopes (2010) indica que a relação entre qualidade de saneamento ambiental e condições de vida, compreende indicadores socioambientais que são determinados pelo percentual de seres humanos com acesso a água tratada e esgotamento sanitário, coleta de resíduos e condições de moradia decentes.

De acordo com Silva e Heller (2016), o acesso a água tratada e ao esgotamento sanitário são fundamentais para reduzir a mortalidade infantil, além de, diminuir a má-nutrição e as doenças tropicais. Dentre as doenças advindas de sistemas inadequados de água e esgoto pode-se citar: leptospirose, cólera, hepatites A e E, diarreias, verminoses, dermatites diversas, dengue, chikungunya, Zika, febre amarela e malária (PNSB-IBGE, 2020).

Conforme os dados apresentados, torna-se visível o avanço na distribuição adequada de água tratada para a população brasileira. Porém é preocupante a situação que encontra-se, atualmente, o esgotamento sanitário no território nacional, sendo este um dos maiores agravantes na redução da qualidade de vida da população brasileira.

De acordo com Nobre (1995), a qualidade de vida representa uma *“sensação íntima de conforto, bem-estar ou felicidade no desempenho de funções físicas, intelectuais e psíquicas dentro da realidade da sua família, do seu trabalho e dos valores da comunidade à qual pertence”* (NOBRE, 1995:299).

Alves e Cavenaghi (2016) complementam que a melhoria na qualidade de vida está diretamente condicionada a melhoria da habitação, que, conseqüentemente, deve apresentar requisitos mínimos de construção e conservação. Os autores indicam que uma moradia adequada deve apresentar os seguintes critérios: *“Domicílio particular permanente com rede geral de abastecimento de água, com rede geral de esgoto ou fossa séptica, coleta de lixo por serviço de limpeza e até 2 moradores por dormitório”* (ALVES e CAVENAGHI, 2016:274).

Lopes (2010) ainda ressalta que para garantir a saúde dos seres humanos, mediante ao saneamento ambiental, faz-se necessária a implantação de sistemas de água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem, configurando uma interferência no meio físico. Porém, convém ressaltar a importância da educação ambiental, que a autora sugere a realização por meio de ações, juntamente com políticas que apresentem os direitos e deveres, tanto dos usuários, como dos prestadores de serviços, abrangendo também, articulações setoriais e uma estrutura institucional que relacione os setores que compreendem a saúde e o ambiente.

De acordo com Nuvolari (2011), ao se implantar um sistema de esgotamento sanitário em uma cidade tem-se como finalidade os seguintes aspectos, higiênico, social e econômico. Com relação ao aspecto higiênico, o autor salienta que objetiva-se a prevenção, o controle e a erradicação de doenças que apresentam veiculação hídrica, e conseqüentemente, aumentam os índices de mortalidade. Com a implantação do sistema, o efluente será tratado antes de atingir os receptores naturais. Em termos de aspecto social, Nuvolari (2011) indica que pretende-se obter melhorias na qualidade de vida da população, mediante a eliminação de odores e qualificando o entorno, a fim de criar áreas de recreação, esportes e lazer para usufruto da comunidade. Já em termos econômicos, o autor salienta o aumento da produtividade geral, principalmente, a industrial e a agropastoril, pois com a implantação do sistema, tem-se uma melhora significativa no meio ambiente, gera-se uma proteção para os rebanhos e aumenta-se a produtividade dos trabalhadores.

Tratando-se de trabalhadores rurais, deve-se observar diversas variáveis que interferem diretamente na qualidade de vida do trabalhador, sendo elas:

“renda, escolaridade, gênero, idade, qualidade do material de edificação da habitação e condições de habitabilidade, condições de alimentação e nutrição, saneamento básico, acesso a serviços de saúde, presença de vetores e animais peçonhentos no domicílio, uso de agrotóxicos, destino dos resíduos domésticos, etc” (LOPES, 2010:26).

Partindo da premissa que o ambiente de trabalho, a moradia e o ambiente urbano relacionam-se na obtenção do bem estar do trabalhador, pode-se ressaltar que o viés contrário também pode ser observado. Um ambiente de moradia, inserido em um contexto urbano adequado as necessidades do ser humano, são fundamentais para conferir saúde, bem estar e satisfação ao ser humano, podendo interferir diretamente no seu desempenho no ambiente de trabalho.

De acordo com Martins et al (2017), o ser humano apresenta características únicas e complexas, necessitando de motivação para sentir-se satisfeito, o que resulta em aumento na produção, reduz as faltas ao trabalho e, conseqüentemente, aumenta os benefícios também para a empresa.

Martins et al (2017) ainda afirmam que a motivação advém de forças internas e externas, que influenciam diretamente no comportamento dos trabalhadores, sendo necessário compreender o comportamento de cada ser humano, para identificar a sua motivação. Desta maneira, os gestores conhecem os seus colaboradores e podem monitorar as suas necessidades e os motivos para impulsioná-los a atingir as suas metas.

Lopes (2010) afirma que as condições de vida do trabalhador estão diretamente relacionadas a qualidade dos recursos disponíveis em seu ambiente, abrangendo o ambiente natural e o meio ambiente construído, que sofre alterações constantes por parte do ser humano. A autora salienta que um conjunto de princípios interfere diretamente na qualidade de vida do ser humano e apresentam indicadores de condições de vida, sendo eles apresentados pelo Estado, como, transporte, assistência médica e saneamento, mas também os advindos da faixa salarial do trabalhador, como, alimentação, habitação, vestuário e lazer.

Em pesquisas realizadas por Martins et al (2017) fica evidente que o ambiente de trabalho é um fator de grande influência na motivação dos trabalhadores. Em entrevista realizada pelos autores, 85% dos entrevistados afirmaram que o ambiente de trabalho interfere no desempenho da equipe, enquanto que, apenas 15% indicaram que esta interferência não ocorre.

Os autores ainda complementam que a motivação do trabalhador deve se dar mediante ao investimento no meio físico, com ferramentas e instalações, e no meio psicológico, através dos relacionamentos, gerando assim, um ambiente positivo, que compreende o desempenho da equipe, mas também, as necessidades dos trabalhadores.

Brandão (s.d.) ressalta a importância de eliminar o fator de risco, ao invés de pagar um adicional remuneratório, sendo essencial garantir o direito a qualidade de vida, a saúde e as condições de trabalho saudáveis, sendo considerada uma política de prevenção, que visa a proteção à vida humana.

De acordo com Bertagnolli (2006), em 1957, Bowen já indicava que os benefícios para as empresas poderiam estar relacionados com os benefícios para a comunidade em geral. Sendo esta uma mudança que priorizava o social, ao invés do econômico, valorizando aspectos, como, distribuição de renda mais justa, qualidade de vida, relacionamento humano e realização pessoal. Reforçando assim, a responsabilidade social frente aos empregados, consumidores, acionistas e na própria comunidade onde está implantada.

Entretanto, Neto e Froes (2001) ressaltam características que definem uma nova racionalidade social, que apresenta as empresas como principais agentes; priorização da comunidade e não da sociedade; ênfase na prática da solidariedade empresarial; realização de ações sociais empresariais com o intuito de desenvolver a comunidade; apresenta a empresa como grande agente investidor social, excluindo o Estado e a sociedade desta responsabilidade.

Em complementação, Bertagnolli (2006) afirma que *“a sociedade tem preocupações ecológicas, de segurança, de proteção e defesa do consumidor, de defesa dos grupos minoritários, de qualidade dos produtos, etc”* (BERTAGNOLLI, 2006:23), sendo assim, as empresas apresentam também influências

do ambiente externo, que além das considerações econômicas, abre-se para as considerações sociais e políticas.

As empresas buscam o status de empresa-cidadã, que atendem as demandas apresentadas pela sociedade, frente aos problemas ambientais gerados pela própria empresa. Além de provar a sociedade, a importância da pureza do ar, da preservação das florestas e da dignidade da população (BERTAGNOLLI, 2006).

De forma mais abrangente, Alves e Cavenaghi (2016), indicam ações para áreas de atuação com abrangência nacional, com o intuito de gerar melhorias nas condições de moradia, sendo elas: domicílios coletivos; legislação e regularização dos terrenos; construção de novas unidades residenciais; reparação e reformas; incentivo à utilização de domicílios não-ocupados; e investimento em infraestrutura e serviço.

Em termos de infraestrutura e serviços, os autores salientam a importância da qualificação da infraestrutura urbana, dos serviços de saneamento e demais serviços advindos de direitos econômicos, sociais e culturais. Sendo essencial a união do poder público, no âmbito federal, estadual e municipal, para incentivar o investimento na qualificação também das moradias.

Para que a empresa seja considerada socialmente responsável, Bertagnolli (2006) indica a necessidade de investimento no bem estar dos funcionários e de seus dependentes, desenvolvendo comunicações transparentes, prestando contas aos acionistas e garantindo que seus clientes estarão satisfeitos com as decisões tomadas.

O vínculo de trabalho e moradia mostra-se diretamente relacionado a qualidade de vida do ser humano que atua na empresa e, também, na comunidade em seu entorno. Sendo essencial a geração de um ambiente com condições de higiene adequadas, conferindo segurança e bem estar aos que atuam nestes locais.

Considerações Finais

Esta pesquisa deu-se início com o questionamento da importância da qualidade de vida advinda dos ambientes de trabalho e moradia na vida dos seres humanos, considerando fatores como esgotamento sanitário, acesso a água tratada e desempenho do trabalhador no ambiente empresarial.

A vasta extensão territorial e variação climática no território nacional influenciam diretamente na distribuição de água tratada, podendo-se observar que os menores índices são encontrados em regiões que sofrem com a ocorrência de secas. Entretanto, o esgotamento sanitário apresenta índices

preocupantes em todas as regiões brasileiras, não apresentando atendimento satisfatório em todos os locais.

As condições de moradia adequada interferem diretamente na saúde, no bem estar e na qualidade de vida do ser humano, sendo o esgotamento sanitário um agente com grande influência nestes quesitos. Pois, condições inadequadas de coleta de esgoto são as principais responsáveis pela mortalidade infantil, além da propagação de diversas doenças.

O acesso a água tratada e ao esgotamento sanitário são condicionantes que atuam na prevenção de doenças, sendo observada a sua importância há centenas de anos. Estes fatores são determinantes na contenção de pandemias, assim como, na obtenção de ambientes propícios a moradia e ao trabalho.

Desta maneira, é possível afirmar que a literatura apresenta diversos parâmetros para comprovar a importância da implantação de esgotamento sanitário para a qualidade de vida do ser humano. Assim como, o acesso a água tratada propicia ambientes mais adequados ao desenvolvimento de atividades domésticas, criando também, um ambiente motivador e satisfatório.

A água tratada é essencial para garantir um ambiente saudável, que visa o bem estar dos seres humanos, estejam eles, atuando no ambiente doméstico ou no ambiente empresarial.

O desempenho do trabalhador está diretamente relacionado a motivação que este recebe, seja ela na ordem monetária ou em benefício do ambiente físico. Autores salientam que o dinheiro é o maior motivador para o trabalhador desenvolver o seu trabalho com empenho e dedicação. Porém foi comprovado, que o incentivo monetário é um direito do trabalhador, podendo agregar ações para qualificar o entorno da empresa e, também, o local de moradia dos trabalhadores.

Desta maneira, a responsabilidade de criar um ambiente urbano digno abrange as esferas administrativas, federais, estaduais e municipais, e também, as empresas e a sociedade num geral, fortalecendo a ideia de investimento da qualidade de vida como um todo e para todos.

Comprovou-se que os serviços básicos interferem no desempenho do trabalhador e também em seu estilo de vida. Porém, a literatura não apresenta dados suficientes que relacione de forma direta a interferência do ambiente de moradia no ambiente de trabalho. Com os resultados das pesquisas pode-se concluir que há interferência nestes ambientes de formas distintas, pois cada ser humano é único e apresenta necessidades complexas. Desta maneira, não é possível desvincular o desempenho de um trabalhador, com o seu local de descanso e lazer, ou seja, a sua moradia.

Referências Bibliográficas

ABES; 2019. Ranking ABES da universalização do saneamento. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA; 1986. NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro.

ALVES, José Eustáquio Diniz; CAVENAGHI, Suzana; 2016. Déficit habitacional, famílias conviventes e condições de moradia. Demografia dos negócios: campo de estudo, perspectivas e aplicações. Séries Demográficas.

BERTAGNOLLI, Daniele Dias de Oliveira; 2006. Estudo sobre a influência dos investimentos sociais e ambientais no desempenho econômico das empresas. Dissertação de Mestrado em Ciências Contábeis, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

BRANDÃO, Cláudio; s.d. Meio ambiente do trabalho saudável: direito fundamental do trabalhador. Revista do Tribunal Regional do Trabalho da 1ª Região.

IBGE; 2015. Panorama. População – Domicílios com iluminação elétrica. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>

IBGE; 2019. Panorama. População – Domicílios com esgotamento sanitário (rede geral ou fossa séptica ligada à rede). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>

IBGE; 2019. Panorama. População – Domicílios com lixo coletado diretamente. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>

IBGE; 2019. Panorama. População – Domicílios com rede geral como principal forma de abastecimento de água. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>

IBGE. 2020; Panorama. População – População estimada. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>

LOPES, Keila Cássia Santos Araújo; 2010. Um estudo sobre as condições de vida e a qualidade do saneamento ambiental local como fatores de interferência para o desenvolvimento de práticas agroecológicas – Um estudo de caso. Dissertação de Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal de São Carlos, Araras.

MARTINS et al; 2017. Fatores motivacionais que influenciam no desempenho dos colaboradores no ambiente de trabalho. Id on Line – Revista Multidisciplinar e de Psicologia, v. 11, n. 39.

NETO, Francisco P. de Melo; FROES, César; 2001. Gestão da responsabilidade social corporativa: o caso brasileiro. Rio de Janeiro: Qualitymark.

NOBRE, Moacyr Roberto Cucê; 1995. Qualidade de vida. Arq Bras Cardiol, v. 64, n. 04, São Paulo.

NUVOLARI, Ariovaldo; 2011. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 2 ed. São Paulo: Blucher.

PNSB-IBGE; 2020. Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE.

SABESP; s.d.. Tratamento de esgotos. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49>

SILVA, Priscila Neves; HELLER, Léo; 2016. O direito humano à água e ao esgotamento sanitário como instrumento para promoção da saúde de populações vulneráveis. Ciência & Saúde Coletiva.

TECNOLOGIA VERDE: ÁCIDO TÂNICO COMO INIBIDOR DE CORROSÃO PARA O AÇO CARBONO

| ID 18861 |

1 Guilherme Kusler Possani, 2 João Pedro Camargo Santos, 3 Eduardo Luis Schneider, 4 Lisete Cristine Scienza

1 UFRGS, e-mail: guilhermepossani@hotmail.com; 2 UFRGS, e-mail: jpcs.2008@yahoo.com.br;

3 UFRGS, e-mail: prof.eduardo@ufrgs.br; 4 UFRGS, e-mail: lisete.scienza@ufrgs.br

Palavras-chave: Ácido tânico; corrosão; aço carbono.

Resumo

Atualmente o desenvolvimento sustentável é uma questão essencial, com implicações em todos os segmentos da sociedade. Neste sentido o desenvolvimento de uma consciência técnica crítica que deve ser construída na sociedade, principalmente na Universidade, entidade geradora de conhecimento e de recursos humanos, visando o entendimento das rotas industriais, prevendo a utilização de recursos naturais, bem como as qualificações e quantificações de possíveis contaminantes e resíduos gerados no processo industrial, convergindo para o emprego de tecnologias limpas. Considerando o amplo emprego de materiais metálicos nos mais variados setores industriais, incluindo a indústria automobilística, da construção civil, química, petroquímica e de bens de consumo, entre muitas outras, torna-se indispensável proporcionar medidas que assegurem a integridade destes materiais, evitando a sua deterioração por corrosão. Medidas preventivas à corrosão asseguram redução de custos com a reposição de peças, reduzem riscos de acidentes, minimizam a utilização de recursos naturais não renováveis e de utilidades industriais (como água, energia, gases), além de contribuir para a redução na geração de resíduos e efluentes. Dentre as diversas técnicas de mitigação da corrosão, o uso de inibidores de corrosão tem se mostrado o método mais fácil e de baixo custo para proteção contra a corrosão dos metais usualmente empregados na indústria, como o aço carbono, aço galvanizado, cobre e alumínio, entre outros. Estes compostos reduzem a taxa de corrosão e, portanto, evitam perdas financeiras devido à corrosão metálica em vasos, equipamentos, tubulações, peças, ferramentas, utensílios e acessórios metálicos diversos. Os inibidores inorgânicos e orgânicos utilizados na indústria são usualmente tóxicos e caros e, portanto, o foco recente tem sido o desenvolvimento de métodos ambientalmente corretos para retardar a corrosão. Muitos pesquisadores têm se concentrado em métodos de prevenção de corrosão usando “inibidores verdes” (*green corrosion inhibitors*) para o aço carbono em soluções

aquosas ácidas a fim de simular processos industriais. Estes inibidores verdes são importantes porque são atóxicos, biodegradáveis, não contêm metais pesados e não geram resíduos poluentes em sua obtenção, uso ou descarte, portanto, são considerados ecologicamente corretos. O presente estudo objetivou investigar as propriedades inibidoras do ácido tânico para a corrosão de aço carbono em solução salina ácida. A metodologia empregada considerou ensaios eletroquímicos como monitoramento do potencial de circuito aberto (OCP) com o tempo de imersão, polarização potenciodinâmica (PP) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS). Os resultados mostraram que a adição de 400 e 800 mg/L de ácido tânico na solução de NaCl 0,1M foi capaz de deslocar e manter o OCP do metal para valores mais nobres ao longo de 72 horas de imersão. Na PP não foi possível identificar o efeito protetor deste inibidor nas concentrações estudadas, contudo apreciável aumento da resistência à corrosão foi verificada no ensaio de EIS, particularmente para a maior concentração estudada (800 mg/L). Considerou-se que o efeito inibidor do ácido tânico é proporcionado pela adsorção de moléculas inibidoras na superfície metálica e subsequente formação de um filme de tanato férrico, cuja proteção tende a diminuir para tempos de exposição mais prolongados. O uso do ácido tânico como um “inibidor verde” para a corrosão do aço carbono em meio aquoso é uma promissora alternativa para substituir inibidores de corrosão tóxicos, comumente usados na proteção de estruturas metálicas em meio aquoso.

Introdução

No contexto da educação para o desenvolvimento sustentável, cujo objetivo é possibilitar a aquisição de conhecimentos e formação de atitudes que possibilitem às pessoas agir e tomar decisões dentro dos propósitos do desenvolvimento sustentável, as instituições de ensino superior se constituem num ambiente propício para promover o desenvolvimento do “saber ambiental”. É inegável a necessidade de desenvolver uma consciência técnica crítica que deve ser construída na sociedade, principalmente na Universidade – base formadora de profissionais – que visa alimentar o mercado com profissionais tecnicamente e ambientalmente qualificados. Para vários profissionais das áreas tecnológicas, particularmente para os engenheiros, as rotas industriais, abrangendo qualificações e quantificações de possíveis contaminantes e resíduos gerados em um processo industrial, devem ser plenamente conhecidas e trabalhadas de modo a convergir para a redução do passivo ambiental e o uso de tecnologias limpas (Mainier; Silva, 2004). Desta forma, o ambiente universitário pode ser considerado um espaço privilegiado à implantação de políticas de conhecimento na constituição de uma forte consciência ambiental, dadas suas especialidades formativas que se assentam na inter-relação da tríade: ensino, pesquisa e extensão.

A pesquisa desenvolvida na Universidade, ou com a participação dela, proporciona uma inovação tecnológica que não se limita à pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e/ou processos. Ela desempenha um papel fundamental nos processos industriais pela constante otimização da tecnologia de fabricação, visando redução do consumo de água e energia, minimização de geração de resíduos e efluentes, emprego de substâncias menos tóxicas e utilização de matérias-primas renováveis, capazes de proporcionar uma qualidade sustentável, que possa trazer benefícios de longo prazo à saúde humana e ao meio ambiente.

Os aços-carbono constituem o mais importante grupo de materiais utilizados na engenharia e na indústria, constituindo-se em matéria prima indispensável para a produção de eletrodomésticos, veículos, máquinas, equipamentos, na produção de energia, na construção civil e na indústria em geral. Suas propriedades mecânicas, na maioria dos casos, são suficientes para atender à maioria das aplicações práticas. No entanto, o aço carbono oxida quando em contato com gases nocivos, umidade e fluidos de processos, necessitando de tratamentos superficiais para prolongar sua durabilidade. A corrosão é um processo de deterioração espontânea do material pela ação eletroquímica ou química do meio, que produz alterações prejudiciais e indesejáveis em artefatos, peças e elementos estruturais, comprometendo seu desempenho e segurança em condições de serviço (Liubartas et al., 2015). Além de causar grandes prejuízos econômicos para a sociedade, há o risco de vazamentos de materiais poluentes para o meio ambiente em virtude da corrosão de tubulações e tanques, podendo ainda ocorrer acidentes fatais. Em indústrias de processos, onde é fundamental a utilização de sistemas fechados de circulação de água industrial, a adição de inibidores é uma forma eficaz de minimizar a corrosão e riscos induzidos pela corrosão, maximizando a vida útil de tubulações e equipamentos de aço carbono (Dargahi et al., 2015).

A preocupação ambiental no sentido de utilizar produtos não tóxicos e compatíveis com o meio ambiente tem gerado a necessidade de criar tecnologias limpas voltadas para o tratamento de superfícies metálicas, incluindo aquelas direcionadas aos inibidores de corrosão (Mainier; Silva, 2004). Segundo Rahim (2008), os inibidores de corrosão podem ser classificados em dois grupos: inibidores tradicionais e os inibidores naturais. Os inibidores tradicionais são, por exemplo, cromatos inorgânicos, nitratos inorgânicos, molibdatos e nitratos orgânicos, carbonatos, silicatos, fosfatos e moléculas orgânicas, que possuem heteroátomos, como nitrogênio, enxofre, fósforo e oxigênio. Estes são utilizados em maior escala e, em sua maioria, possuem efeitos tóxicos e poluentes. Já os inibidores naturais são atóxicos e biodegradáveis (Marcolino, 2015; Possani et al, 2019). O uso de muitos inibidores inorgânicos, particularmente aqueles contendo fosfatos e cromatos, está sendo gradualmente restringido ou banido por várias regulamentações ambientais por causa de sua toxicidade (Chigongo et al., 2016). Assim, em consequência das atuais medidas rígidas sobre as

regulamentações ambientais, associado ao aumento da consciência ecológica, questões de saúde e de custo, mudaram as atenções de especialistas em controle de corrosão para o desenvolvimento de sistemas eficientes e inibidores de corrosão ambientalmente benignos, abrindo espaço para os inibidores naturais, denominados “inibidores verdes” (*green inhibitors* ou *eco-friendly inhibitors*) (Verma et al., 2018; Xu et al., 2019, Possani et al., 2019).

Os taninos são compostos de grande interesse químico e ecológico que vem sendo considerados promissores inibidores verdes naturais devido à sua fonte natural e renovável, baixo custo de obtenção e alta biodegradabilidade em condições aeróbias e anaeróbias, o que os tornam seguros para descarte em comparação com inibidores de corrosão inorgânicos como cromatos, nitritos, sais ou óxidos de zinco (Öztürk; Sezer, 2016). O ácido tânico é produzido pelo metabolismo secundário de plantas e se constitui num polifenol que tem como fórmula molecular $C_{76}H_{52}O_{46}$. Sua composição tem na parte central uma glicose e ligada a ela cinco cadeias de duas moléculas de ácido gálico ligadas por esterificação como mostra a Figura 1 (Mattos, 2009).

As moléculas de tanino podem alcançar a interface metal/solução e se adsorverem na superfície metálica por interação eletrônica. Devido à presença do grupo hidroxila, estes compostos são capazes de quelar o ferro formando uma camada protetora na superfície metálica. É constituída por tanato férrico, que é um complexo azul-preto formado durante a reação entre o cátion metálico (Fe^{+3}) e o grupo hidroxila (OH^-) em uma solução aquosa oxigenada. Esta camada de tanato férrico é capaz de repelir moléculas de água e inibir o ingresso de espécies agressivas como Cl^- , SO_4^{2-} e CO_2 , íons que estão entre os principais responsáveis pela corrosão do metal (Kaco et al., 2018).

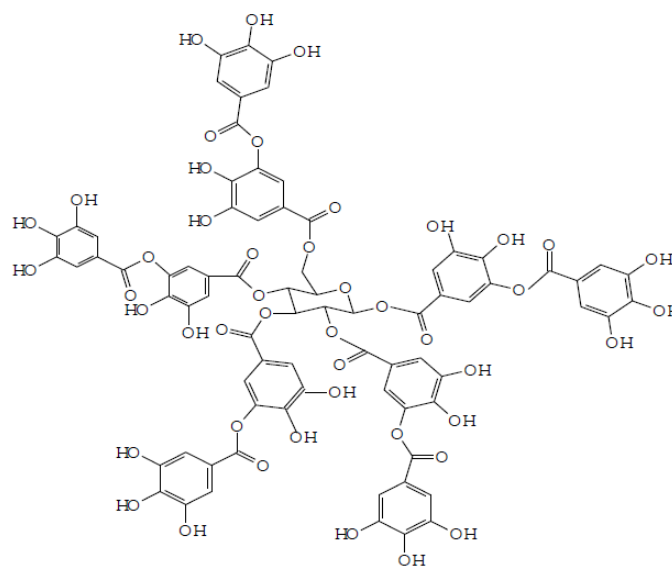


Figura 1: Estrutura química do ácido tânico (Mattos, 2009).

Com a proposta de uso de inibidores verdes, o presente estudo tem por objetivo avaliar a eficiência à corrosão proporcionada pela adição de ácido tânico em soluções aquosas salinas, através de ensaios eletroquímicos de monitoramento do potencial de circuito aberto, polarização dinâmica e espectroscopia de impedância eletroquímica, contribuindo com os estudos envolvendo o uso de tecnologias limpas voltadas para a mitigação de processos corrosivos do aço carbono em sistemas de água industrial.

Materiais e Métodos

Chapas de aço carbono AISI 1008 (laminação a frio) foram fornecidos pela empresa Arcelormittal Brasil S.A. A composição química do aço é apresentada na Tabela 1, e a Figura 2 mostra a seqüência de preparação do substrato metálico para os ensaios de corrosão.

Tabela 1: Composição do aço carbono AISI 1008 (em %massa).

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo
0,0662	0,0070	0,3420	0,0160	0,0081	0,0370	0,0260	0,0010

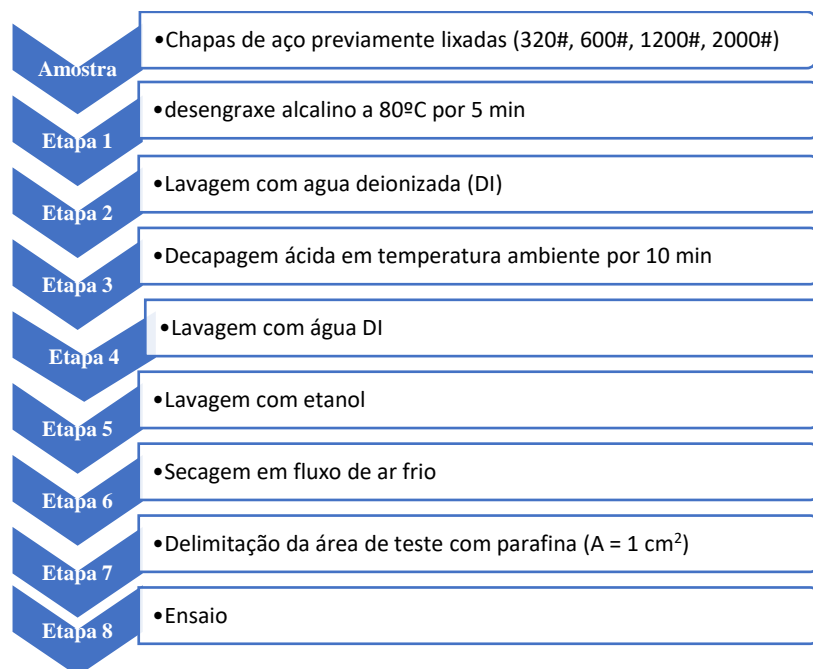


Figura 2: Sequência de tratamento dado ao substrato metálico.

Ácido tânico P.A. (Greentec) e cloreto de sódio P.A. (Dinâmica) foram usados como reagentes. As soluções de NaCl 0,1 M, sem o inibidor (branco) e contendo 200 mg/L, 400 mg/L e 800 mg/L de ácido tânico foram preparadas com água deionizada (condutividade < 1 μ S/cm). Na sequência de ensaios as soluções tiveram o pH foi ajustado para 3,5 \pm 0,2 com a adição de uma solução diluída de ácido clorídrico.

O ensaio de monitoramento do potencial de circuito aberto (OCP) foi realizado com o auxílio de um multímetro da marca Minipá ET-1005 e uma célula eletroquímica de dois eletrodos: a amostra (aço carbono) como eletrodo de trabalho e um eletrodo de referência de Ag/AgCl. Os ensaios foram realizados em triplicatas para assegurar a reprodutibilidade dos resultados. As medições de potenciais foram feitas para os seguintes tempos: 0, 0,5; 1; 2; 3, 4, 24 e 72 horas de imersão, sem agitação, à temperatura ambiente e sob condições de aeração natural.

Para as curvas de polarização foi utilizado um potenciostato/galvanostato Methrom DropSens 400*is* conectado ao software Drop View. A célula eletroquímica era constituída por três eletrodos: eletrodo de referência de Ag/AgCl, eletrodo de trabalho (aço carbono) e um contra-eletrodo constituído de um fio de platina. O volume de solução eletrolítica utilizado foi de 120 mL. O sistema eletroquímico empregado é mostrado na Figura 3. Para obter o estado estável do eletrodo de trabalho, cada amostra foi imersa em solução de teste por 30 minutos antes de cada medição, o que permitiu que os valores do potencial de circuito aberto (OCP) atingissem o estado estacionário. As curvas de polarização potenciodinâmica catódicas e anódicas foram conduzidas na faixa de potenciais de -0,50 V a +0,50 V *versus* OCP, a uma taxa de varredura de 5 mV/s. Os resultados estão plotados em gráficos de potencial (E) versus o logaritmo da densidade de corrente (i). Os diagramas de impedância foram obtidos no potencial de circuito aberto em uma faixa de frequência de 100 Mhz a 10 mHz e a amplitude da tensão foi de 10 mV. Os resultados estão plotados em diagramas de Nyquist. Todos os testes foram conduzidos em duplicatas.



Figura 3. Potenciostato e célula eletroquímica utilizada nos ensaios eletroquímicos.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Tecnologias Sustentáveis (LAMATES) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Resultados e Discussão

O comportamento do potencial de circuito aberto (OCP) com o tempo de imersão para o aço carbono em solução salina, na presença e na ausência do ácido tânico é mostrado na Figura 4. A redução inicial do OCP, observada em todas as soluções nas primeiras horas de imersão está relacionada à dissolução da camada nativa de óxido durante os estágios iniciais de imersão. Na ausência do inibidor, o OCP caiu rapidamente e atingiu um estado quase estacionário em 24 h de imersão, ficando em torno de -0,68 V após 72 h, valor próximo ao obtido para a solução contendo 200 mg/L do inibidor. Contudo, na presença de 400 e 800 mg/L de ácido tânico, o valor de OCP inicialmente apresentou um pequena elevação e então atingiu um platô após 24 h de imersão. Ainda que pequena, a elevação do potencial observado após 72 h de imersão foi cerca de 50 mV mais nobre que o observado para o aço carbono, o que demonstra as características deste inibidor em restringir as reações anódicas do processo corrosivo. Segundo Xu et al. (2019) o efeito inibidor pode estar relacionado à adsorção do composto orgânico nos sítios ativos da superfície do eletrodo e à formação de um filme barreira, retardando as reações de corrosão. Assim, temos em maiores concentrações a presença de um maior número de moléculas orgânicas adsorvidas na superfície, possibilitando a formação de uma barreira que dificulta o transporte de íons na interface metal/solução, reduzindo a dissolução do metal.

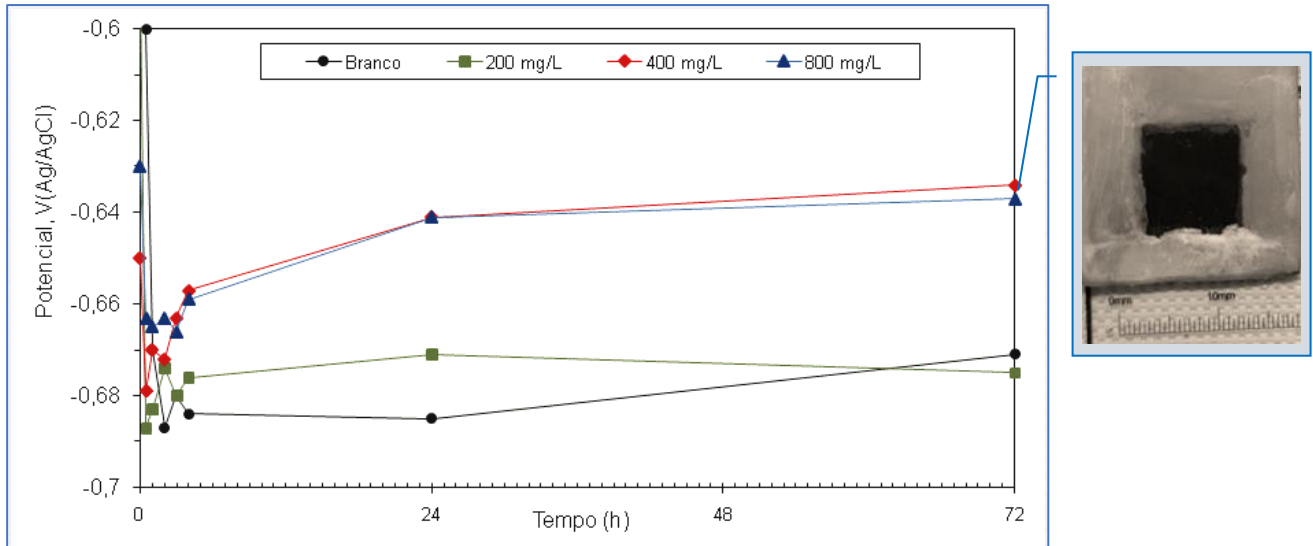
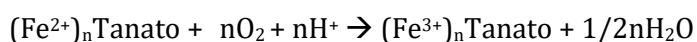
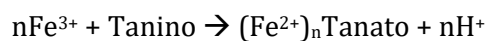
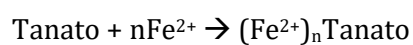
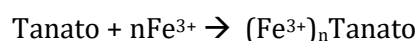


Figura 4. Potencial de circuito aberto em função do tempo de imersão para o aço carbono em solução de NaCl 0,1 M na ausência e na presença de ácido tânico e, no detalhe à direita, aspecto do corpo de prova ao final de 72 h de imersão.

O aspecto da superfície do metal após o ensaio (mostrado em detalhe na Figura 4) mostra a presença de um filme preto-azulado uniforme, correspondendo à formação de tanato férrico. Xu et al. (2019) apresentaram as seguintes reações possíveis de ocorrerem na presença de ácido tânico:

- Dissolução do aço carbono conduz à formação dos íons ferrosos (Fe^{2+}): $\text{Fe} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$
- Íons ferrosos são oxidados a íons férricos (Fe^{3+}) pelo oxigênio: $\text{Fe}^{2+} + 1/4\text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 1/2\text{H}_2\text{O}$
- Num mecanismo cíclico os íons férricos são reduzidos a íons ferrosos pelo contato com o metal através dos poros existentes na camada de óxido: $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} \rightarrow 3\text{Fe}^{2+}$
- Reação do ácido tânico com os íons de ferro formando complexos de tanato ferroso e férrico por diferentes caminhos:



Assim, devido aos grupos OH^- na posição orto dos anéis aromáticos, o ácido tânico é capaz de formar quelatos com o ferro, de modo que, quando os íons Fe^{3+} reagem com grupos OH^- em solução aquosa aerada, um complexo altamente insolúvel e preto-azulado (tanato férrico, Figura 5) é formado (Qian et al., 2013). Entretanto, constatou-se que adesão entre o filme formado e o metal é fraca, ou seja, o filme obtido pôde ser facilmente removido da superfície quando úmido. Esta falta de adesão sugere que o filme de tanato férrico formado não permanece quimicamente ligado à superfície metálica, podendo comprometer sua eficácia quando longos períodos de proteção são requeridos, ou mesmo em sistemas que operam com fluidos em movimento, como os de água de refrigeração, por exemplo.

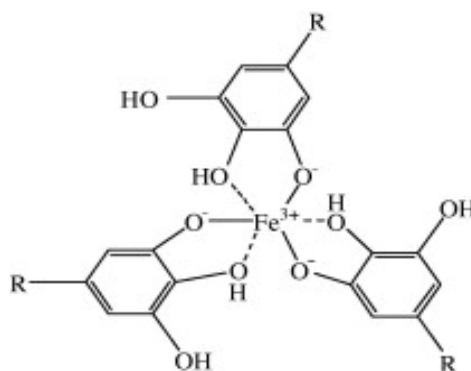


Figura 5. Estrutura do tanato férrico (Qian, 2013).

O comportamento do metal sob polarização, apresentado na Figura 6, mostra que a presença de ácido tânico, mesmo na concentração de 800 mg/L não alterou o comportamento eletroquímico do substrato metálico. Em nenhum caso foi evidenciada a formação de filme passivo na superfície do eletrodo e um processo anódico controlado pela ativação é evidenciado no braço anódico da curva. Nestas condições não foi possível verificar o efeito protetor proporcionado pelo inibidor.

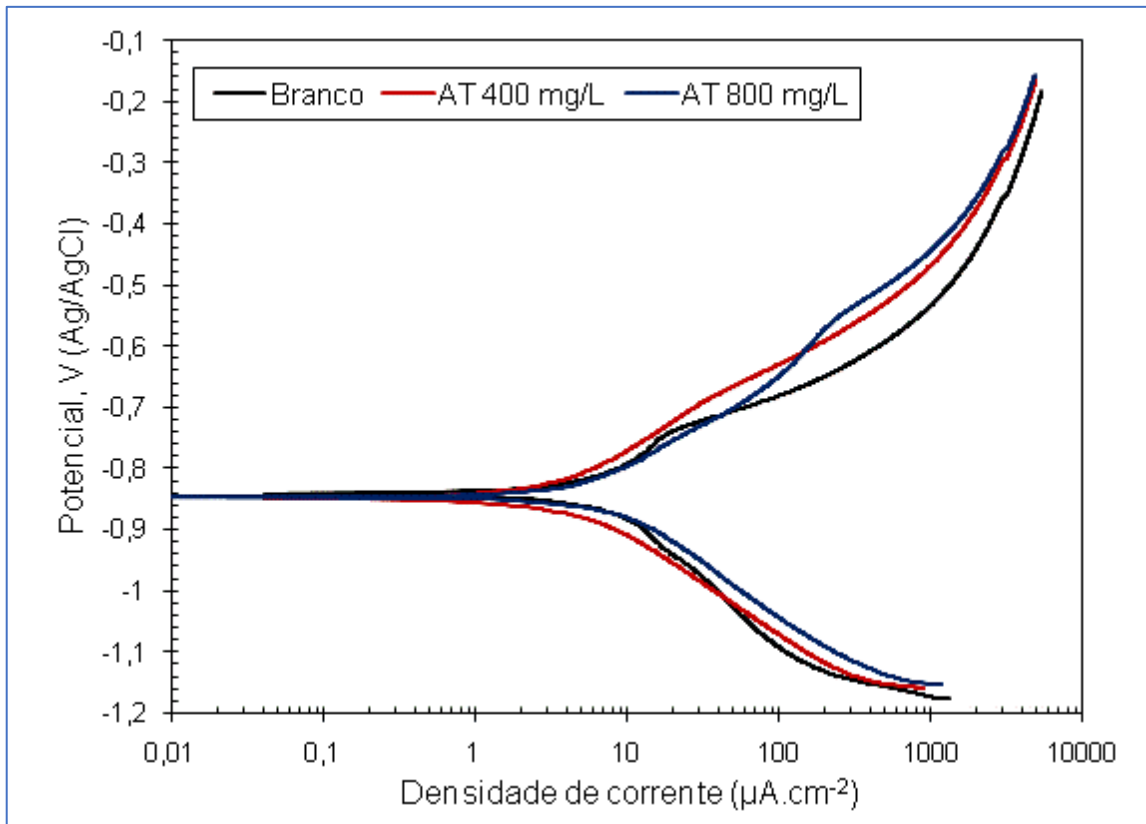


Figura 6. Curvas de polarização potenciodinâmicas para o aço carbono em solução de NaCl 0,1 M na ausência e na presença de ácido tânico.

A fim de obter maiores informações quanto ao efeito inibidor de corrosão providenciado pelo ácido tânico, medidas de impedância eletroquímica foram realizadas. A Figura 7 mostra os diagramas de Nyquist obtidos após 30 minutos de imersão e após 24 h de imersão. O comportamento obtido na ausência e na presença do inibidor corresponde a um semicírculo achatado, tal comportamento é característico para eletrodos sólidos e muitas vezes referido como dispersão de frequência, o que pode ser atribuído à heterogeneidade da superfície (Öztürk; Sezer, 2016). É possível observar que o diâmetro do semicírculo aumentou com o aumento da concentração do inibidor, indicando um incremento na resistência à corrosão. O melhor comportamento observado para a concentração de 800 mg/L de ácido tânico é devido a maior quantidade de moléculas orgânicas adsorvidas na superfície metálica, dificultando o processo de corrosão do aço carbono. Contudo, após 24 h de imersão, constatou-se uma redução das características protetoras (Figura 6(b)), sendo mais perceptível para a maior concentração do inibidor. É possível que o contato com os íons Cl^- presentes na solução tenha induzido à formação de defeitos na camada de tanato férrico, reduzindo seu efeito de barreira em alguma extensão.

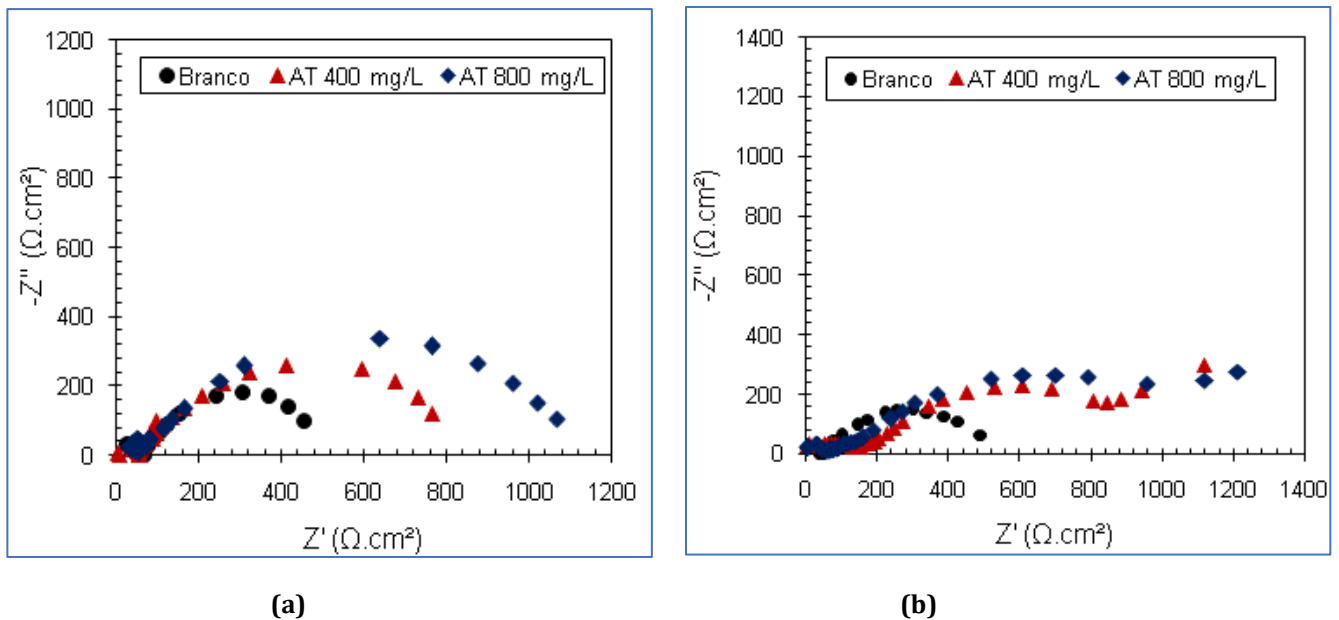


Figura 7. Diagramas de Nyquist para o aço carbono em solução de NaCl 0,1 M na ausência e na presença de ácido tânico após 30 minutos de imersão (a) e após 24 horas de imersão (b).

Considerações Finais

Neste estudo foi apresentada a preocupação da Universidade em desenvolver nos futuros profissionais uma consciência ambiental através da realização de diferentes atividades acadêmicas. No que se relaciona à pesquisa científica, foi abordada a importância no estudo e desenvolvimento de tecnologias de proteção à corrosão de metais compatíveis com o meio ambiente empregando os denominados “inibidores verdes”.

A corrosão do aço carbono foi investigada em soluções de 0,1 M de NaCl com concentrações de ácido tânico de 200, 400 e 800 mg/L. Os dados experimentais relatados neste estudo indicaram que o ácido tânico pode providenciar proteção à corrosão do aço carbono em concentrações superiores a 400 mg/L. O efeito inibidor é proporcionado pela adsorção de moléculas inibidoras na superfície metálica e subsequente formação de um filme de tanato férrico, cuja proteção tende a diminuir em tempos de exposição mais prolongados.

O uso do ácido tânico como um “inibidor verde” para a corrosão do aço carbono em meio aquoso é uma promissora alternativa para substituir inibidores de corrosão tóxicos, comumente usados na proteção de estruturas metálicas em meio aquoso.

Agradecimentos

Os Autores agradecem ao apoio recebido na forma de recursos financeiros da FAPERGS (Edital 05/2019-PqG) e CAPES-PROEX, e a bolsa de iniciação científica concedida pelo CNPq para a realização deste estudo.

Referências Bibliográficas

- Chigongo, M.; Chigongo, F.; 2016. Recent natural corrosion inhibitors for mild steel: An overview. *Journal of Chemistry*, pp. 1-7.
- Dargahi, M.; Olsson, A.L.; Tufenkij, N.; Gaudreault, R.; 2015. Green technology: Tannin-based corrosion inhibitor for protection of mild steel. *Corrosion*, v. 71, n.11, pp. 1321-1329.
- Liubartas, D.; SilvaE.A.S.B.; Santos, E.A.M.; Silva, J.E.; Formigoni, A.; 2015. A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas. *INOVAE - Journal of Engineering and Technology Innovation*, São Paulo, v. 3, n.1, pp.92-110.
- Kaco, H.; Talib, N.A.A.; Zakaria, S.; Jaafar, S.N.S.; Othman, N.K.; Chia, C.H.; Gan, S.; 2018. Enhanced corrosion inhibition using purified tannin in HCl médium. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, v. 22, n. 6, pp. 931 – 942.
- Mainier, F.B.; Silva, R.R.C.M.; 2004. As formulações inibidoras de corrosão e o meio ambiente. *ENGEVISTA*, v. 6, n. 3, pp. 106-112.
- Marcolino, J. B. 2015. Avaliação do potencial de utilização do tanino vegetal da acácia negra como inibidor do processo de corrosão de aço com carbono em presença de CO₂ a alta pressão. Tese (Doutorado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Mattos, T.CG; 2009. Mecanismo da ação antioxidante dos ácidos caféico e tânico em sistemas contendo íons ferro. Dissertação (Mestrado em Química) Programa de Pós-graduação em Química. Instituto de Química. Universidade de Brasília – UNB. Brasília.
- Öztürk, I.; Sezer, E.; 2016. Corrosion protection of mild steel in cooling wáter systems with green polymeric inhibitor, tannic acid. Anais do EUROCORR 2016.
- Possani, G.K., Schneider, E.L.; Scienza, L.C.; 2019. Anais do 5º Simpósio sobre sistemas Sustentáveis, pp. 234-239.SS
- Rahim, A.A.; Kassim, J.; 2008. Recent Development of Vegetal Tannins in Corrosion Protection of Iron and Steel. *Recent Patents on Materials Science*, v. 1, pp. 223-231.
- Qian, B.; Hou, B.; Zheng, M.; 2013. The inhibition effect of tannic acid on mild steel corrosion in seawater wet/dry cyclic conditions. *Corrosion Science*, v. 72, pp.1–9.
- Verma, C. Kumar, A.M.; Mazumder, M.A.; Quraishi, M.A.; 2018. Chitosan-based green and sustainable corrosion inhibitors for carbon steel. *Chitin-Chitosan - Myriad Functionalities in Science and Technology – Chapter 2*. IntechOpen, pp. 144-156
- Xu, W; En-Hou Hana, E-H.; Wang, Z. 2019. Effect of tannic acid on corrosion behavior of carbon steel in NaCl solution. *Journal of Materials Science & TechNology*, v. 35, pp. 64–75.

A INSERÇÃO DOS CONCEITOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL, ZONOSSES E SAÚDE ATRAVÉS DA LITERATURA INFANTIL

| ID 18876 |

1Cisnara Pires Amaral, 2Nathana Pizzolato Minuzzi

1Universidade Regional Integrado do Alto Uruguai e das Missões, e-mail:

cisnara.amaral@urisantiago.br; 2Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, e-mail: nathanaminuzzi@gmail.com

Palavras-chave: Zoonoses; Educação ambiental; Meio Ambiente.

Resumo

O presente trabalho está relacionado a produção de um livro em PDF relacionado a Pandemia do Covid-19, objetivando demonstrar a ligação entre as zoonoses, as doenças emergentes e a degradação ambiental. Compreendemos que a degradação ambiental, representada pelos focos de incêndio, acúmulo de resíduos sólidos, desmatamento, tráfico de animais, compra de animais exóticos e selvagens está relacionada ao nosso cotidiano. Acabamos nos acostumando com a exploração, não relacionamos os descasos ambientais com a saúde, dessa forma torna-se imprescindível realizar trabalhos com crianças, pois além de desenvolver a criticidade em relação ao tema, podem cobrar de seus pais, mudanças de atitudes. O trabalho foi desenvolvido durante 3 meses, a partir das notícias veiculadas na mídia, em relação a pandemia, teve como público-alvo crianças do Ensino Fundamental e foi distribuído em PDF para professoras regentes, que entraram em contato com o NUCON (Núcleo de Comunicação) da Universidade e com as autoras. Para a distribuição dos exemplares, ocorreu a realização de chamadas em suas redes sociais, enfatizando o conteúdo como uma ferramenta didático pedagógica. Também ocorreu a participação em rádios da cidade e a produção de folders lançados no site da Universidade. Após a aplicabilidade do livro, recebemos de 7 regentes, de diferentes escolas, materiais que representavam a releitura do trabalho com as crianças e suas diferentes abordagens; além de depoimentos em relação a avaliação do material. Conclui-se que ferramentas didáticas, como livros de literatura infantil, podem servir de apoio para o desenvolvimento da criticidade, contribuindo para chamar atenção em relação aos desequilíbrios ambientais e o descaso em relação ao meio ambiente. Conhecer a interrelação entre as zoonoses e a saúde, compreender o respeito que envolve fauna e flora são atitudes que poderão favorecer a criticidade em relação a relação de dominância entre homem e natureza. É necessário

desenvolver em nossas crianças o respeito pelos animais, sejam eles silvestres, exóticos ou domésticos, estabelecer a relação entre tráfico de animais, patógenos e suas interferências na homeostase do meio.

Introdução

A pandemia do Covid-19 mostrou claramente os desequilíbrios ambientais e a vulnerabilidade das cadeias alimentares, trouxe à tona os descuidos em relação a fauna, o tráfico de animais, a relação entre zoonoses e doenças, a sensação de poder em relação a aquisição de animais exóticos. As ações humanas sobre o ambiente como a urbanização, pecuária e industrialização vêm proporcionando um maior contato entre seres humanos, animais silvestres e domésticos, facilitando assim a proliferação de agentes infecciosos (RODRIGUES et al, 2017).

Além da urbanização, pecuária e industrialização, temos em nosso DNA a insensatez em acreditar que estamos no topo da cadeia alimentar e que podemos dominar todas as outras existentes. Harari (2018), p.109 afirma: “muito antes da Revolução Industrial, o *Homo sapiens* já era o recordista, entre todos os organismos, em levar as espécies de plantas e animais mais importantes à extinção. Temos a honra duvidosa de ser a espécie mais mortífera nos anais da Biologia”.

Obviamente, não podemos esquecer que a pesquisa realizada em muitos animais, orientam a produção de fármacos indispensáveis no tratamento de diversas doenças, porém o que estamos discutindo nesse momento é a retirada de espécies selvagens e exóticas de seu hábitat natural, o manuseio, as condições a que são submetidos e as consequências desse abuso.

A manipulação e a caça de animais exóticos e selvagens, auxiliam para que os microrganismos realizem adaptações e mutações, passando de um ser vivo para o outro, como relatam Ellwanger e Chies, no Jornal da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) em maio de 2020:

“Essa caça e a manipulação de carne de animais selvagens são atividades altamente facilitadoras da transmissão de novos microrganismos para os humanos. Por exemplo, um caçador em uma floresta

Tropical sentirá calor, usará poucas roupas e poderá ter cortes na pele causados pela vegetação. O contato com fluidos, principalmente sangue, da carcaça, dos animais com os ferimentos do caçador pode ser a porta de entrada no corpo humano para diferentes microrganismos, incluído aqueles com potencial patogénico. A manipulação de carne e vísceras da caça para consumo, portanto, é uma ótima oportunidade para novos patógenos infectarem os humanos.

Além dessa preocupação, nos deparamos com a perda de hábitat, provocada pelo desmatamento e queimadas, como afirmam Ellwanger e Chies, no mesmo artigo acima: “o

desmatamento altera de forma robusta a dinâmica dos vetores pela redução de hábitat e pela interferência nas populações de espécies que controlam a proliferação desses animais”.

Acabamos de demonstrar que a preocupação com o meio ambiente deverá fazer parte das discussões das comunidades, fornecendo subsídios para que ocorra a formação de opiniões, o desenvolvimento da criticidade, o autoquestionamento em relação a nossa cultura.

É necessária uma mudança na relação do homem com a natureza para o bem comum, mas sem uma mudança de paradigma do pensamento no tratamento do meio ambiente isso se torna inviável (FARO, 2017). Essa mudança poderá iniciar na escola, a partir das ações didáticas que irão nortear o trabalho docente, assim o professor poderá realizar a contextualização de recursos, trabalhar a interdisciplinaridade, criar oportunidades de protagonismo e criticidade, através de ações de EA (Educação Ambiental).

Quando o professor tem a oportunidade de criar seus próprios recursos didáticos, ele tem a oportunidade de articular os conhecimentos das diferentes áreas científicas e, além disso, de articular esses conhecimentos com contextos atuais da humanidade (FILATRO; CAIRO, 2015).

Essa articulação poderá ser realizada através da Literatura e da EA, ferramentas capazes de proporcionar exploração e ressignificação de conceitos, desenvolver a imaginação e as emoções. Lajolo (2010, p.106), confirma esse pensamento:

“É a literatura, como linguagem e como intuição, que se confiam dos diferentes imaginários, as diferentes sensibilidades, valores e comportamentos através dos quais uma sociedade expressa e discute, simbolicamente seus impasses, seus desejos e utopias. Por isso, a literatura é importante no currículo escolar: o cidadão para exercer plenamente sua cidadania precisa apossar-se da linguagem literária, alfabetizar-se nela, tornar seu usuário competente.

E apossar-se da linguagem, significa compreender os desequilíbrios ambientais relacionados a ação antrópica. Fragoso e Nascimento (2018) enfatizam que as escolas são espaços de formalização e aplicação de conceitos formadores, sendo caminhos para formar o sujeito ecológico e o pensamento ambiental que é uma teoria que integra o pensamento, os valores, a razão e o sentido; as diferenças e as diversidades, a cultura e a natureza.

Farias e Knechtel (2019, p.68) observam que a mudança de postura é princípio fundamental para aquisição de hábitos e atitudes, e consciência em relação a crise ambiental.

Os tempos que vivemos exigem esta postura de inconformidade, demandando medidas e transformações profundas e por que não, uma ruptura com a ordem econômica vigente? A crise climática mundial, a

exploração exaurível do ambiente natural, físico-biológico, a poluição dos oceanos, os desastres ecológicos e humanos em escala sem precedentes, ou seja, o fato de estarmos erodindo as bases de nossa economia, nossos meios de sobrevivência, já deveriam ser considerados imperativos para esta ruptura. No entanto, algo nos escapa aí, pois não há consenso sobre o real estado do mundo em relação às condições e exigências para a vida em comum no planeta, ou melhor, não há um consenso sobre a crise ambiental em que estamos imersos.

Assim sendo, deve-se investir na EA de forma interdisciplinar, aproveitando a Literatura infantil, como ferramenta para repensar teorias e práticas, estimulando o conhecimento científico, que fundamentem ações educativas em espaços formais ou informais.

Metodologia

O trabalho foi coordenado e organizado pela docente da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, uma acadêmica do Curso de Ciências Biológicas e uma aluna do Terceiro ano/ médio da Escola atrelada a Universidade. O trabalho foi concluído em 3 meses, foi organizado um livro infantil em PDF sobre o covid-19 (imagem 1) em forma de história em quadrinhos. Iniciou sua produção em fins de março e foi lançado em julho nas redes sociais das autoras e da Universidade.

Importante salientar que a coordenadora da atividade é regente da disciplina de Biologia, possui um projeto na Escola que estimula a criação de livros infantis pelo Terceiro ano do Ensino Médio, com conteúdos relacionados no currículo. Esses livros são doados à biblioteca do educandário e servem de leitura para o Ensino Fundamental. Porém, com a atual pandemia, a proposta foi transformar o livro em PDF e divulgar nas redes sociais, disponibilizando para regentes de turma e comunidade escolar.

Este artigo faz referência a produção do livro relacionado ao conteúdo do vírus Covid-19, foi realizado tendo como referência reportagens exibidas na mídia, vídeos, revistas que abordavam o assunto. Após a finalização do conteúdo e desenho, ocorreu as orientações necessárias e a acadêmica do Curso de Ciências Biológicas ficou responsável pela edição e design.

O livro está recheado de informações: ilustra os momentos iniciais da pandemia, como o vírus age no organismo e os cuidados necessários para evitar a contaminação. Para a divulgação da atividade, o grupo contou com o apoio do Núcleo de Comunicação da Universidade, espaços em jornais e rádios da cidade, ainda ocorreu a disponibilização de um WattsZappWeb para que os interessados adquirissem seu exemplar.

A análise dos resultados contou com o feedback de algumas regentes e da aluna envolvida na produção literária.

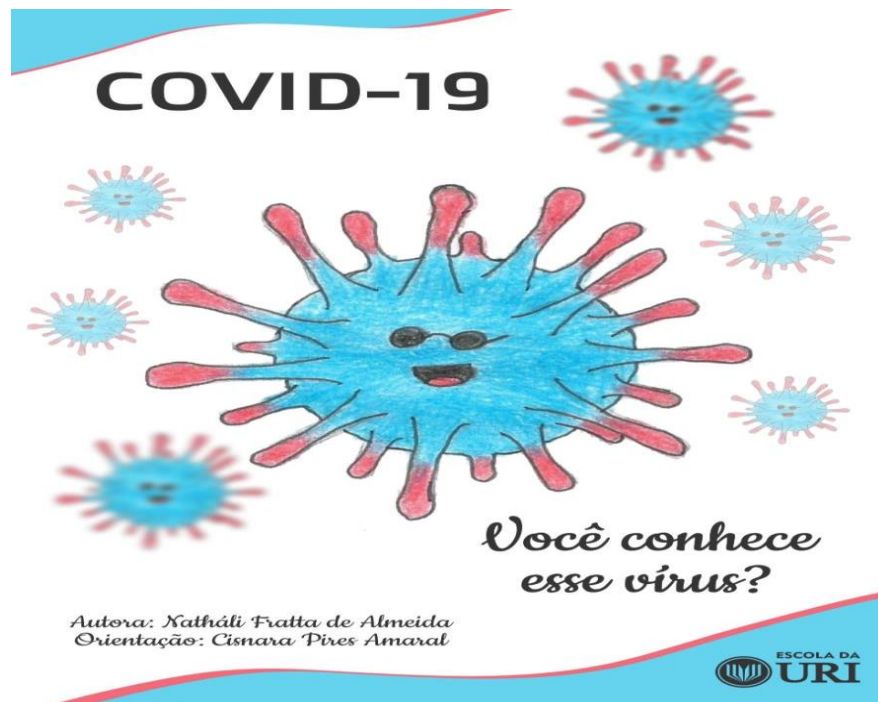
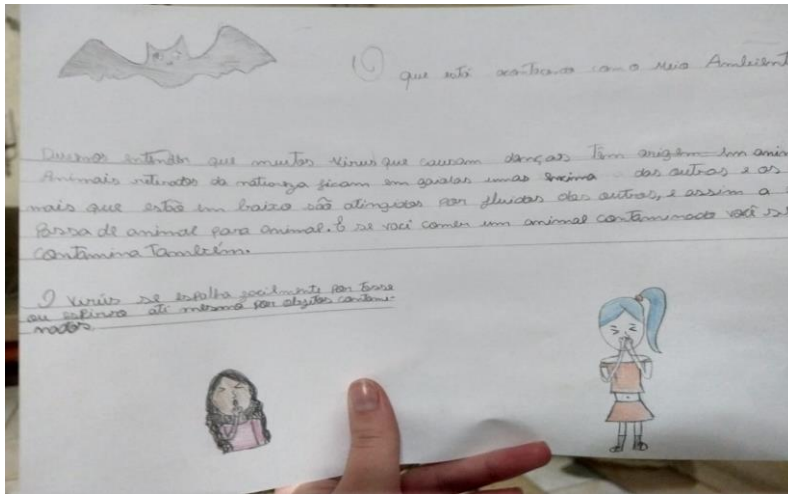


Figura 1 - capa da produção literária.

Materiais e Métodos

Dos vários PDFs enviados pelas redes sociais, de forma privada ou relacionada a Instituição, obtivemos retorno apenas de 7 regentes do Ensino Fundamental que trabalham na nossa cidade, em diferentes escolas. Os trabalhos realizados foram releituras, desenhos, jogos, produção de powerpoint, massinha de modelar, redações e abordagens de expressões do livro em inglês, trabalhadas no 3º ano (anos iniciais), 4º ano, 5º, 6º e 7º ano. Para a análise de dados, utilizou-se a interpretação dos métodos utilizados e suas abordagens e o depoimento das docentes em relação a importância dessa ferramenta didática.

Seguem 3 exemplificações, da interpretação da ferramenta didática:



Scratch Criar Explorar Ideias Acerca Pesquisa Adentrar ao Scratch Entrar

Corona vírus como se proteger

by Beiazi

Ver por dentro

Instruções

Esse é meu projeto sobre o corona vírus e de como se prevenir, basta clicar na bandeirinha verde que a história vai começar.
Para poder ver as imagens melhor aproxime o vídeo, você terá 1:52 minutos de vídeo.
Aproveita e deixa like obrigada pra quem deixou, agora fica com o vídeo e fui, falou!

Notas e Créditos

Esse projeto foi feito por:
Beiazi
e zoomrafa uma amiga que me ajudou muito.
Obrigada

3 1 0 37

12 de ago. de 2020 Copiar Ligação

Muitos vírus tem origem de animais, o Covid-19 é um deles, ele surgiu com o contato de um morcego com um bandolim, na China



+



Percebe-se as diferentes possibilidades de exploração da obra, e a capacidade das regentes conduzir a leitura da mesma, de forma satisfatória. Compreendemos que a pandemia, trouxe ao educador, novas formas de abordagens para o ensino-aprendizagem, pois teve que adaptar-se a novas ferramentas, orientando os alunos no ensino remoto a desenvolver a criticidade, protagonismo e curiosidade em relação a tema adversos, como uma pandemia e suas consequências.

Dentro dessa perspectiva de adaptação, necessitamos mais do que nunca, chamar a atenção para os problemas ambientais, utilizar a tecnologia para inserir novas abordagens de conteúdo, que explorem as relações que se estabelecem no meio, que estimulem a percepção, o enfrentamento e principalmente a mudança de atitudes.

Discutir os descasos ambientais, significa ir além do que acontece em nossa comunidade, significa compreender a relação das zoonoses com nossa saúde, relacionar a globalização e os desequilíbrios ambientais, dar subsídios para que, os discentes percebam as mazelas ambientais.

Harari (2020) em seu livro “Notas sobre a Pandemia: e breve lições para o mundo pós-coronavírus”, p.19 salienta:

“A coisa mais importante que as pessoas precisam compreender sobre a natureza das epidemias talvez seja que sua propagação em qualquer país põe em risco toda a espécie humana. Isso por que os vírus evoluem. Um vírus como o corona tem sua origem em animais, como o morcego. Quando salta para os humanos, o vírus encontra-se inicialmente pouco adaptado aos novos hospedeiros. Replicando-se dentro de nós, pode sofrer mutações. A maior parte delas inofensiva. Mas de vez em quando a mutação torna o vírus mais infeccioso e mais resistente ao sistema imunológico humano – e essa cepa mutante rapidamente se alastrará pela população humana”.

Roos e Becker (2012) salientam que os problemas ambientais, deve-se em parte a dificuldade de sensibilização das pessoas, na dificuldade de tomarem ciência das situações que acarretam problemas no seu ambiente ou para a biosfera em geral, refletindo sobre suas causas.

Como fazer essa associação entre sensibilização e mudanças de atitudes? As pesquisadoras Calixto e Marujo (2019), p. 83 respondem a questão, identificando a importância da EA em suas declarações:

“Considerando a EA como um processo inserido no contexto educacional de forma transversal, que leva o estudante a refletir sobre a complexidade da vida, isto é, suas relações, conexões, repercussões em âmbitos diversos, pode trazer práticas efetivas que conduza o sujeito a pensar em si e no outro. A tornar-se sensível a condição de si e do outro, a respeitar as diferenças, a buscar em si e no outro as potencialidades, as forças e, conseqüentemente, aumentar seu bem-estar. Mudar o foco da

denúncia para anunciar o positivo, o belo, o saudável, o ético, a alegria, pode ser uma alternativa viável para a mudança que almejamos”.

Em relação as atividades desenvolvidas, nota-se que além da leitura proporcionada, o material didático pode explorar a relação de dominação homem-natureza, a percepção dos desajustes ambientais, a problemática das relações ecológicas, a importância da fauna e flora, e a homeostase do meio, como observado na página 06 (figura 3). Nas diversas abordagens realizadas pelas docentes, pode se observar, perguntas, como: o que está acontecendo com o meio ambiente? Proposta por uma criança do 3º ano dos anos iniciais, ou em um jogo produzido por outro discente de 5º ano, explorando as diferentes tecnologias e discutindo o conteúdo do livro de forma ressignificado. Ao analisarmos uma das páginas propostas no material, observamos que a relação entre zoonoses, saúde e homeostase do meio.

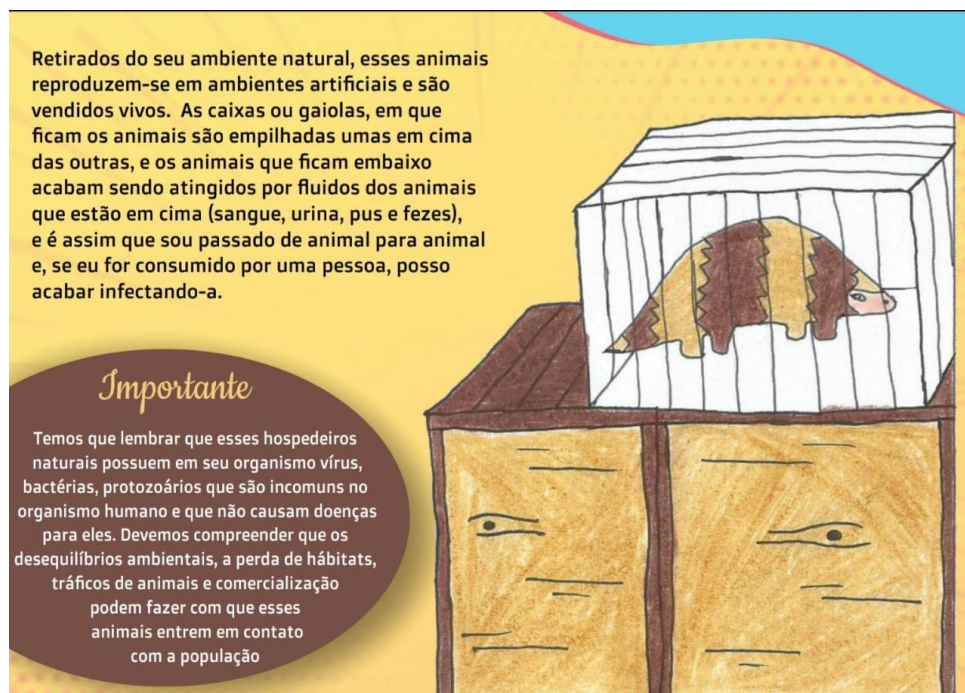


Figura 3 – fragmento do livro.

Dessa forma, a Literatura cria essa possibilidade, a inserção da EA e o desenvolvimento da participação ativa dos sujeitos na busca de soluções de problemas coletivos. A EA como um tema transversal pode ser prevista nas mais distintas áreas do conhecimento como um processo de desenvolvimento da sensibilidade social. Contribui fortemente para o desenvolvimento profissional no que se refere a processos colaborativos, a visão sistêmica, a consciência coletiva, ao estímulo a mudanças de hábitos como prevê a Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999).

É deveras salutar pensar a escola como um conjunto, como um sistema único de formação humana para além das questões profissionais, quantitativas e de concorrência. Pensar um mundo diferente requer atitudes diferentes. Portanto, isso significa quem embora muito do que se faça na instituição seja direcionado às sociedades sustentáveis, na prática prepara-se sujeitos competitivos e que almejam a eliminação do outro para alcançarem seu espaço no mundo do trabalho (CALIXTO; MARUJO,2019).

É tempo de mudar essa concepção, a competição está gerando indivíduos que não respeitam os recursos naturais e os animais silvestres e exóticos, que dele fazem parte, que desconhecem a importância do equilíbrio entre fauna e flora. Hoje o homem defronta-se com o problema da degradação do meio ambiente, que se revelou tanto perigoso quanto complexo. Já foi o tempo que as pessoas ligadas a essa questão eram românticas (PINOTTI,2016).

Um fato crucial, que jamais poderá ser esquecido, é lembrado por Pinotti (2016), p.228:

“Se estamos passando por um período de expansão e agressividade descontroladas, foi nos concedido um “antídoto” para reverter esse processo, que é a inteligência. Se tivermos suficiente resolução e sagacidade, transformar nossa sociedade num sistema harmonizado com os processos naturais, retirando e utilizando recursos sustentáveis e em níveis módicos. Ao contrário do que se pensa frequentemente, não é mais possível, nem mesmo desejável, que abandonemos o nosso conhecimento científico e tecnológico por uma vida bucólica baseada em realidades de séculos atrás. Sem a nossa ciência e tecnologia, nunca conseguiríamos alimentar tantos bilhões de pessoas, e muito menos elevar a expectativa e a qualidade de nossas vidas. O que precisamos fazer é simplesmente alterar a nossa mentalidade, reconhecendo que o homem e o meio ambiente não são estranhos um ao outro, mas profundamente interligados.”

Dessa forma, a educação torna-se uma mola propulsora para trabalhar as questões ambientais, é necessário desenvolver conceitos científicos, aprimorar o entendimento entre animais exóticos e selvagens, compreender os parasitas que podem ser encontrados nesses animais, para que possamos formar a criticidade em relação a compras de animais que não fazem parte de meu hábitat.

Antônio Amélio Dalla Costa et al. (2017), p.5 relata a importância da educação humanizadora, como pré-requisito para mudanças de atitudes, como descrito a seguir:

“Nascemos humanos, não nascemos prontos, necessitamos nos tornar humanos a cada novo dia, é um permanente tornar-se humano; esta é uma possibilidade que existe em cada um de nós como ser inconclusivo. Temos necessidade de estarmos sempre na busca de nos tornarmos humanos. Esse processo constante de evolução contribui para sermos uma pessoa melhor. A educação pode e deve ajudar-nos a nos tornarmos melhores. O papel da

escola transcende ao aprimoramento intelectual e a capacitação técnica, uma vez que ela, também, cabe formar seres humanos capazes de humanizar a vida e a história. Não podemos perder de vista que educar é fundamentalmente humanizar e nesse sentido os professores são os facilitadores da humanização.”

Dando continuidade as discussões, percebe-se as várias formas de humanização que obras literárias propõe, a capacidade de discernimento de ser responsável pelas ações que poderão definir problemas ambientais, a mudança de postura, a definição de conhecimentos científicos. Segue relato da aluna responsável pela obra e sua percepção em relação ao momento vivenciado:

“Não é fácil descrever como foi fazer parte desse projeto, porque foram muitos sentimentos no processo. A partir do convite da profe para a turma participar de seu projeto de produção de livros infantis, fiquei muito entusiasmada, porém achei que não daria conta, por estar me adaptando ao ensino EAD e as muitas tarefas que tínhamos. Gosto de escrever e desenhar, o que acabou sendo prazeroso, acabei aprendendo sem perceber e no final acaba sendo satisfatório quando tu vê o resultado do que tu fez e sente orgulho por ter ficado tão bom e cada momento que tu passou fazendo ter valido a pena. Eu não tinha noção da quantidade de pessoas que teriam acesso a ele, era difícil imaginar a amplitude que iria tomar, por isso foi uma surpresa. Receber os feedbacks das profes que leram e usaram ele em suas aulas, ver que foi reconhecido, que as pessoas gostaram, foi incrível. Parece surreal quando penso que as crianças leram e aprenderam com o livro, que ajudou a entenderem um pouco do momento que estamos vivendo e do quão séria é a situação. Sou muito grata pela oportunidade e aprendizado. Assim desejo que dias de mais saúde sejam propiciados a todos por meio dos cuidados necessários e que as pessoas se deem conta que a natureza precisa estar em harmonia com a vida das pessoas”.

Seguem relatos de algumas regentes sobre a importância da ferramenta didática para suas práticas docentes:

“O livro é muito interessante, foi escrito por uma adolescente, têm linguagem clara, está muito bem desenhado, fato que auxilia a compreensão e o entretenimento”; “Parabéns a professora orientadora e as alunas envolvidas, o livrinho traz uma discussão bem enfática sobre hábitos e atitudes, deixando claro a relação entre saúde, doenças e meio ambiente”; “achei fantástico, parabéns as envolvidas, conseguiram discutir as mazelas do meio ambiente de forma divertida e empolgante”; “Necessitamos de mais ferramentas didáticas desse nível, para que possamos explorar conceitos, realizar interdisciplinaridade, auxiliar a criticidade em relação ao meio ambiente”; “Acredito na importância da leitura para auxiliar a escrita e a formação de opiniões, o livrinho agregou conhecimento científico, discussão acerca das questões ambiental e oportunidade de repensar a prática pedagógica”; “

Parabéns a coordenadora, pelo incentivo a aluna, essa experiência certamente proporcionou o repensar de nossas atitudes, aproveitando a pandemia para discutir as questões ambientais”.

É notório que a Literatura trabalhada de forma interdisciplinar, poderá agregar conhecimentos científicos e trazer novas possibilidades aos docentes, desenvolvendo o protagonismo e a percepção em relação as questões ambientais, dessa forma o docente deverá propiciar novas abordagens para o currículo, utilizando as metodologias ativas para realizar a inserção entre EA e interdisciplinaridade. O sucesso da ferramenta metodológica depende do planejamento e da motivação, recursos para promover a aprendizagem significativa.

Esse é um dos objetivos dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) que deixam claro que ensinar ciências é fazer com que o aluno se torne um ser investigativo, observador, que proponha soluções para situações problemas; que desenvolva seu saber científico; que o torne mais reflexivo (BRASIL, 1997). Assim sendo, Ciências é uma das disciplinas que aprimora o senso de investigação e a reflexão, utilizar essa disciplina para auxiliar a mudança de hábitos e atitudes, proporcionará conhecimento científico e novas abordagens ao currículo.

Aliar a discussão de problemas ambientais com a Literatura, inserindo a EA, permitirá visão holística, contextualizada, globalizada, poderá colaborar com a inserção de valores, como a equidade, cidadania, consciência, justiça e mudanças culturais. Portanto, pensar sobre como as escolas, pensam a sustentabilidade e o bem-estar dos seus estudantes, e ainda identificar qual e se a perspectiva de seus currículos para a prática ambiental é relevante (CALIXTO; MARUJO, 2019).

Comentários finais

Conclui-se que a interdisciplinaridade proposta entre Literatura e Biologia poderá facilitar o aprendizado, estimular o conhecimento científico, auxiliar os docentes a partir de novas oportunidades de ferramentas didáticas, proporcionar o protagonismo, a criatividade, o estímulo a leitura e a percepção em relação as mazelas ambientais.

Trabalhos que propiciem a discussão entre saúde, meio ambiente e zoonoses precisam envolver as comunidades, é necessário investir em atividades que estimulem a cidadania, a compreensão que o somos responsáveis pelas ações de degradação. Trabalhar com as crianças de Ensino Fundamental oportunizará crescimento consciente, cobrança aos pais em relação a atitudes que valorizem e respeitem o meio ambiente.

Conhecer a interrelação entre as zoonoses e a saúde, compreender o respeito que envolve fauna e flora são atitudes que poderão favorecer a criticidade em relação a relação de dominância

entre homem e natureza. É necessário desenvolver em nossas crianças o respeito pelos animais, sejam eles silvestres, exóticos ou domésticos, estabelecer a relação entre tráfico de animais, patógenos e suas interferências na homeostase do meio.

Agradecimentos

Agradecemos a aluna do Terceiro ano, Ensino Médio Natháli Fratta de Almeida, ao apoio do NUCON da Universidade e as regentes que avaliaram a produção do livro.

Referências Bibliográficas

Brasil. Política Nacional do Meio Ambiente. Nº9795/99. Brasília, 1999. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm, acesso em abril 2021.

_____. 1997. Ministério da Educação. Secretaria da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais** - Ciências Naturais (1ª a 4ª série). Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC.

Calixto, P.M.; Marujo, H. A. **Educação Ambiental e Psicologia Positiva**: interlocução estratégica para a promoção do bem-estar e da sustentabilidade na escola. 2019. 1ª ed. Curitiba: Appris.

Dalla Costa, A. A.; Silva, J.C.; Miola, A.; Kuhnen, R.; Hauschildt, G.Z.T. 2017. Educação Humanizadora: valorizando a vida na sociedade contemporânea. In: VII Congresso Internacional de Educação, Santa Maria, 2017, **Anais...** Santa Maria: Biblos.

Ellwanger, J.H.; Chies, J. A.B. 2020. Conexões entre desequilíbrios ambientais e o surgimento de doenças infecciosas na Amazônia. **Jornal da Universidade**, UFRGS, Porto Alegre, maio. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/jornal/conexoes-entre-desequilibrios-ambientais-e-o-surgimento-de-doencas-infecciosas-na-amazonia/>, acesso em junho 2020.

Farias, A. L.; Knechtel, M. R. 2019. A subjetividade contemporânea: uma nova fronteira para a educação ambiental. **Ambiente & Educação**, v.24, n.2, p.68-97.

Faro, I.F. 2017. **Educação para o Meio Ambiente**. Campinas, SP: Pontes Editora.

Filatro, A.; Cairo, S. 2015. **Produção de Conteúdos Educacionais**. São Paulo: Saraiva.

Fragoso, E.; Nascimento, E.C.M. 2018. A educação ambiental no ensino e na prática escolar da Escola Estadual Cândido Mariano – Aquidauana/MS. **Ambiente & Educação**, v.23, n.1, p. 161-184.

Harari, Y.N. 2018. **Sapiens**: uma breve História da Humanidade. Porto Alegre: L&M.

Lajolo, M. 2010. **Do mundo da leitura para a leitura do mundo**. 6 ed. 13ª impressão. São Paulo: Editora Ática.

Pinotti, R. **Educação Ambiental para o século XXI no Brasil e no mundo**. 2016. 2ª ed. São Paulo: Blucher.

Rodrigues, C.F.M et al. 2017. Desafios da saúde pública no Brasil: relação entre zoonoses e saneamento. *Scire Salutis*, v.7, n.1, p.28-36.

Roos, A.; Becker, E.L.S. 2012. Educação Ambiental e Sustentabilidade. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.5, n.5, p.857-866.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E O MEIO AMBIENTE URBANO EM TEODORO SAMPAIO - SP

| ID 19255 |

1Hugo Régis Soares

1Mestrando em Geografia Profissional pela Unesp – Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, e-mail:hugoregis@adv.oabsp.org.br

Palavras-chave: Educação Ambiental; Ambiente Urbano.

Resumo

Inobstante a legislação ambiental municipal tenha limites constitucionais, em regra se traduz em importante instrumento de contribuição para a proteção do meio ambiente, sendo assim, é de suma importância sua observação para o desenvolvimento sustentável nos perímetros urbanos, bem como para a proteção das bacias hidrográficas. Desta forma, as normas ambientais urbanas devem ser difundidas pelos mais diversos meios a fim de contribuir com a mudança de comportamento do cidadão no par que de sua parcela de contribuição no fim ou na minimização dos impactos ambientais decorrentes, entre outros, pela impermeabilização do solo, descarte irregular de resíduos, entre outros. Este artigo contextualiza a necessidade da disseminação do conhecimento como instrumento transformador, reconhecendo a necessidade de disseminar o conhecimento da importância da legislação municipal ambiental na proteção e preservação das bacias hidrográficas.

Introdução

A Legislação Municipal Ambiental tem importante papel no bom funcionamento do sistema de drenagem urbana, uma vez que entre as consequências do seu descumprimento está o aumento (ou diminuição com construção de reservatórios, por exemplo) de vazão gerados pela impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e o destino inadequado de resíduos sólidos (lixo); deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixo e sedimentos; entre outros.

A quase total impermeabilização dos solos nas zonas urbanas, o destino inadequado de resíduos, poda drástica de árvores, estão entre os fatores decorrentes da inobservância da legislação municipal ambiental, que resultam em impactos negativos ao meio ambiente.

Entretanto, necessário se faz levar à população o conhecimento da legislação municipal ambiental de modo que demonstre os impactos positivos de seu cumprimento, relacionando o teor do dispositivo com o seu efeito advindo de seu cumprimento.

Material e Métodos

O artigo foi desenvolvido por intermédio de estratégias de investigação consistente no levantamento de material bibliográfico, trabalho de campo com a participação de 8 (oito) alunos do segundo ano do ensino médio da Escola Estadual Arthur Ribeiro, da cidade de Teodoro Sampaio - SP.

Preliminarmente foi levantado toda legislação ambiental do Município de Teodoro Sampaio que tenham relação com a proteção do meio ambiente e aferição de seu conhecimento pelos alunos do segundo ano do ensino médio

Teodoro Sampaio - SP

Com uma população de 21.386 habitantes, o Município de Teodoro Sampaio está situado no oeste paulista, região na região do Pontal do Paranapanema, fazendo parte da 10^a Região Administrativa de Presidente Prudente.

Teodoro Sampaio possui uma área de 1.556 km², sendo atualmente o 8^o município do Estado de São Paulo em extensão territorial, se encontra a 352 metros acima do nível do mar. Possui em seu território o Parque Estadual Morro do Diabo, um dos últimos remanescentes de Mata Atlântica do Estado de São Paulo.

Limita-se com os municípios de Presidente Epitácio ao norte, Marabá Paulista e Mirante do Paranapanema ao nordeste, e Rosana e Euclides da Cunha Paulista ao leste.

**Teodoro Sampaio - SP**

Fonte: Wikipédia, 2019

A área urbana do município ocupa 5,74 Km², não é cortada por nenhum curso d'água perene, pois se situa no divisor de água de dois afluentes do rio Paranapanema: Ribeirão águas Claras ao Norte e Ribeirão Cuiabá ao Sul.

Processo de Urbanização

O Processo de Urbanização deve estar em sintonia com os elementos naturais, e o Homem é o único precursor desta sintonia, devendo suas atuações estar em consonância com a proteção e conservação do meio ambiente.

Na medida em que cresce a degradação ao meio ambiente, em especial o natural, afetando negativamente a qualidade de vida das pessoas e colocando em risco as futuras gerações, torna-se curial a maior e eficaz tutela dos recursos ambientais pelo Poder Público e por toda a coletividade (AMADO, 2013).

Nesse sentido, em especial a partir dos anos 60 do século passado, os países começaram a editar normas jurídicas mais rígidas para a proteção do meio ambiente. No Brasil, pode-se citar, por exemplo, a promulgação do antigo Código Florestal, editado por meio da Lei 4.771/1965, assim como a Lei 6.938/1981, que aprovou a Política Nacional do Meio Ambiente (AMADO, 2013).

Especificamente na área ambiental, em face do interesse comum na preservação dos recursos ambientais e no seu uso sustentável, a regra é que todas as entidades políticas têm competência para legislar concorrentemente sobre meio ambiente, cabendo à União editar normas gerais, a serem especificadas pelos estados, Distrito Federal e Municípios, com o interesse regional e local, respectivamente (AMADO, 2013).

Não diferente de outros Municípios a Legislação Municipal Ambiental de Teodoro Sampaio tem importante papel no bom funcionamento do sistema de drenagem urbana, uma vez que entre as consequências do seu descumprimento está o aumento de vazão gerados pela impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e o destino inadequado de resíduos sólidos (lixo); deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixo e sedimentos; entre outros.

Dentro deste contexto é possível observar a importância do cumprimento da legislação municipal ambiental pela população urbana para contribuição com proteção ambiental e consequentemente com a(s) bacia(s) hidrográfica(s) que o perímetro urbano está inserido.

Importante observar que práticas de educação ambiental para o pleno atendimento da legislação ambiental municipal pode ser adaptada aos diversos municípios contribuindo para a drenagem urbana.

Considerando que o uso e a ocupação do solo urbano e o desenvolvimento de atividades (econômicas ou não) no território municipal devem se dar sob o viés de sustentabilidade, e que, em maior ou menor grau, as atividades urbanas se colocam, como fator de risco à qualidade dos mananciais (superficiais e subterrâneos), a preocupação com a proteção desses recursos se insere – obrigatoriamente – no âmbito dos entes municipais (DUARTE, 2017).

Continua DUARTE (2017, p. 718), conforme citado por Machado (2012, p. 460), a quantidade e a qualidade das águas dos rios, ribeirões, riachos, lagos e represas, vão depender da implementação da política ambiental e da legislação ambiental existentes, com referência, notadamente, ao ordenamento do território do Município. (Grifamos)

Entretanto, necessário se faz levar a população o conhecimento da legislação, o que dever ser feito por intermédio da educação ambiental.

Com maior frequência as esferas governamentais federal e estadual vem condicionando os Municípios a implementar legislações ambientais a repasse de recursos.

É o caso, por exemplo, do Programa Município VerdeAzul (PMVA) instituído pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente em São Paulo. Diversas são os dispositivos legais implementados pelos Municípios para se credenciar ao “selo “VerdeAzul”, uma vez que a participação do município no

PMVA é um dos critérios de avaliação para a preferência na liberação de recursos do Fundo Estadual de Controle da Poluição – FECOP.

No mesmo sentido a Lei nº 12.305/2010 condicionou os entes federativos que desejarem acessar recursos da União a elaboração de seus respectivos Planos de Resíduos Sólidos e implantação da coleta seletiva, promovendo a reciclagem dos resíduos sólidos, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos em aterro sanitário e a extinção dos lixões.

A Lei nº 12.376/2010 que trata da Introdução ao Direito Brasileiro disponha em seu artigo 4º que “ninguém se escusa de cumprir a lei, alegando que não a conhece”. Mesmo não podendo alegar o desconhecimento é importante salientar que grande maioria dos destinatários da lei não a conhecem, em especial quando tratamos de leis municipais que não recebem tanta atenção das mídias quanto as leis federais ou estaduais.

Nosso ordenamento jurídico estabelece que as leis para terem validade tem que ser oficialmente publicadas. Ocorre que estas publicações são efetivadas em Diários Oficiais que não despertam qualquer interesse da maioria da população. E não é diferente com as leis municipais ambientais.

A introdução da legislação ambiental no processo de conhecimento, quer seja, nas escolas, universidades, ou qualquer outro meio que leve ao cidadão a ter pleno conhecimento dos motivos que originam a legislação é medida imprescindível para que os objetivos sejam plenamente alcançados. Não há que se falar em educação sem que nela esteja inserida o conhecimento básico de educação ambiental, e neste sentido deve estar incluído o conhecimento dos dispositivos legais ambientais municipais.

Da mesma forma o conhecimento da legislação ambiental municipal poderá contribuir para que se alcance os objetivos de água limpa e saneamento, combate as alterações climáticas e qualidade de vida sobre a terra.

Com o acesso ao conhecimento da importância da legislação ambiental consequentemente haverá sistemática contribuição à boa saúde e bem-estar; educação de qualidade; água limpa e saneamento.

A proposta da ação pedagógica da Educação Ambiental Crítica vir a ser desenvolvida através de projetos que se voltem para além das salas de aula, pode ser metodologicamente viável, desde que os educadores que a realizam, conquistem em seu cotidiano a práxis de um ambiente educativo de caráter crítico. Considerando a própria gravidade da crise ambiental para a manutenção da vida no planeta e a emergência do enfrentamento desta, não há como pensar em um público privilegiado a qual a educação ambiental deva se destinar. Agregado a isso, como já foi dito, não compactuamos com a ideia simplista que aposta na transformação da criança hoje para termos uma sociedade

transformada amanhã (o que talvez não houvesse nem tempo para essa espera). Sendo ainda que, como também discorremos anteriormente, se esse processo educativo se dá na adesão ao movimento da realidade socioambiental, numa relação dialética de transformação do indivíduo e da sociedade reciprocamente, o público da Educação Ambiental Crítica é a sociedade constituída por seus atores individuais e coletivos, em todas as faixas etárias¹.

Para que seja alcançado o objetivo de vivermos em cidades e comunidades sustentáveis o cidadão deve conhecer e respeitar sua legislação ambiental.

Diversos são os dispositivos legais extraídos da legislação Municipal com intuito de proteção ambiental que não são de conhecimento do cidadão teodorensense.

Sendo responsabilidade não só do Poder Público, mas também da população proteger o meio ambiente necessário se faz levar os dispositivos legais municipais ambientais ao conhecimento da população e demonstrar que o seu descumprimento tem colaborado para intensificar a degradação dos recursos hídricos e do meio ambiente. A poluição da água superficial e subterrânea, o assoreamento dos cursos d'água, a ocupação desordenada e a falta de cuidado com as Áreas de Preservação Permanente (APP), gerando danos ambientais, de saúde e econômicos.

Desta forma, necessário se faz a disseminação do conhecimento da legislação municipal ambiental para a população de Teodoro Sampaio demonstrando sua correlação com os impactos positivos, a fim de que o seu cumprimento redunde em ações concretas para a Agenda 2030.

A própria Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, impõe não só ao Poder Público, mas a toda a coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente para as futuras gerações. E no inciso VI do § 1º do mesmo artigo estabelece que o Poder Público deve promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1988). (Grifamos)

Legislação Municipal Ambiental e a Proteção de Meio Ambiente

Entre as diversas espécies de normas jurídicas do Município de Teodoro Sampaio - SP, destacamos os dispositivos que exigem a edificação de calçadas ecológicas, delimitam áreas mínimas impermeáveis nos perímetros dos imóveis edificados; limpeza urbana, coleta, tratamento e destinação final do lixo, inclusive com a implantação de programa de coleta seletiva de resíduos e programas de educação para o meio ambiente; regulamentação de distância mínima do perímetro urbano na utilização de agrotóxico.

¹Identidades da educação ambiental brasileira / Ministério do Meio Ambiente. Diretoria de Educação Ambiental; Philippe Pomier Layrargues (coord.). – Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 156 p.; 28cm.

VIEIRA esclarece que “quando se aborda os temas ambientais no nível municipal, ou seja, no âmbito local, onde a autoridade e o poder de decisão estão próximos da população, conhecendo seus interesses e problemas cotidianos, é importante fazer das políticas ambientais um instrumento de defesa, de diálogo e de consenso junto à sociedade.

Hayashi e SILVA, 2015, destacam que “entre os diversos instrumentos de Planejamento Ambiental e Sustentabilidade Municipal, de acordo com Little (2003), podemos incluir uma infinidade de programas, projetos, leis municipais que normatizem e norteiem para um desenvolvimento sustentável no município, tais como o Plano Diretor, Lei de Uso e Ocupação do Solo, Plano de Mobilidade e Plano de Saneamento.”

Calçadas Ecológicas



Crédito: Hugo Régis Soares

As calçadas ecológicas são importantes instrumentos que contribuem para a infiltração das águas no solo, redução da taxa de escoamento superficial e redução da velocidade do escoamento superficial.

Entre seus reflexos positivos não só as questões ambientais e melhor qualidade de vida para os moradores, mas também benefícios econômicos com a valorização dos imóveis.

Entretanto, é muito comum que após a expedição do “habite-se”, ocorra a impermeabilização dos passeios trazendo consequências danosas ao meio ambiente.

Calçadas impermeabilizadas



Crédito: Hugo Régis Soares

Fator determinante na contribuição do escoamento superficial, a impermeabilização das calçadas em evidente descumprimento da legislação municipal, tem representado fatores negativos para o meio ambiente, como erosões, assoreamento de rios e redução de infiltração de águas, além de causar desvalorização dos imóveis e prejuízos para a administração pública com a danificação de pavimentos e transtorno para o trânsito nos dias chuvosos.

A calçada ecológica é apenas um dos diversos instrumentos de proteção ambiental dispostos na legislação ambiental municipal de Teodoro Sampaio – SP.

Incentivo fiscal a instalação de sistema de produção de energia solar; correta disposição de resíduos sólidos; controle de queimadas em perímetro urbano; limitação de distância mínima do perímetro urbano para utilização de agrotóxicos; controle de comercialização de agrotóxicos; criação de programa de coleta seletiva de resíduos sólidos; estão entre os instrumentos que quando efetivamente cumpridos, representam impactos positivos ao meio ambiente, e até mesmo a geração de renda como é o caso da coleta seletiva de resíduos sólidos.

Entretanto, é necessário que ocorra a mudança de comportamento de população, que deixe de ver as obrigações decorrentes da legislação ambiental como “encargo” e passe a ver os dispositivos legais ambientais como verdadeiras colunas que podem ser utilizadas como base de sustentação para um meio ambiente melhor.

Segundo JACOBI (2003), a educação ambiental promove o crescimento da consciência e permite que a sociedade tenha maior participação nos processos decisórios, fortalecendo a corresponsabilidade da mesma com a fiscalização e controle dos agentes degradantes do meio.

Necessário se faz que a Educação Ambiental promova mudança de comportamento para que os destinatários das leis ambientais passem a ter consciência da importância da defesa e preservação do meio ambiente, havendo necessidade da “efetiva cumplicidade e envolvimento da Educação Ambiental com outras áreas do conhecimento, principalmente, as relacionadas às ciências naturais e ambientais, assim como as ciências sociais ou as ciências humanas, direcionando o ensino e a aprendizagem para as questões sociais, históricas, culturais e ambientais, a fim de promover efetivamente a compreensão dos problemas socioambientais, partindo de uma rede de significados marcadas por um conjunto interligado de conceitos científicos” (FRANCELIN).

Importante ressaltar que a propagação dos dispositivos ambientais deve ultrapassar as salas de aulas, ou seja, preparar as gerações futuras, mas também cuidar do presente, no sentido de impedir a degradação do meio ambiente e, em especial a proteção das bacias hidrográficas.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são um apelo universal da Organização das Nações Unidas à ação para acabar com a pobreza, proteger o planeta e assegurar que todas as pessoas tenham paz e prosperidade.

Entre referidos objetivos estão inseridos: boa saúde e bem-estar; educação de qualidade; água limpa e saneamento; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsável; combate as alterações climáticas; e vida sobre a terra. (Grifo nosso)

As consequências da inobservância da proteção ambiental e da falta de harmonia do Homem com a natureza sem sido cada vez mais constante e visíveis.

Avenida Cuiabá – Teodoro Sampaio – SP (02/06/2019)



Fone: Página no Facebook

Ao tratar das “áreas verdes” ROBATTINI, 2016 *apud* GUZZO, 1999; LOMBARDO 1990 esclarece que “os benefícios ecológicos da conservação destes remanescentes em áreas urbanas estão relacionados com diversos fatores, tais como: retenção e estabilização do solo, além de manter a fertilidade e permeabilidade do solo; produção de sombra às margens dos cursos d’água, possibilitando a manutenção da temperatura adequada da água para a vida de diversas espécies de peixes e outros organismos aquáticos e terrestres inter-relacionados; abrigo da fauna existente; manutenção do clima e suavização de temperaturas extremas; influência direta na qualidade e umidade do ar, através de ações de fixação de poeiras, materiais residuais e da realização dos processos fotossintéticos; redução na velocidade dos ventos; minimização dos ruídos urbanos e integração das atividades humanas com o meio ambiente.”

Resultados e Discussão

O processo de urbanização das cidades, sem planejamento, e em especial sem observação das normas protetivas do meio ambiente, resulta na evolução de diversos impactos ambientais negativos, como enchentes, erosões, poluição de rios e nascentes.

Na sua quase totalidade de vezes os impactos são causados por intervenções antrópicas, e muitas das ações podem ser evitadas ou minimizadas eliminando ou reduzindo os diversos impactos ambientais.

A Educação como instrumento de transformação da sociedade deve ser assim também entendida com relação a proteção e preservação do meio ambiente.

A necessidade da permanente discussão e busca por soluções ficou evidente, após a conclusão deste artigo. A legislação uma vez aprovada, deve ser levada ao conhecimento da população por todos os meios disponíveis, não sendo diferente com relação a legislação ambiental municipal.

Aterro Sanitário em Valas de Teodoro Sampaio - SP



Crédito: Hugo Régis Soares

Foram realizadas diversas visitas com os estudantes do 2º ano do Ensino Médio da Escola Arthur Ribeiro, de Teodoro Sampaio – SP, entre as quais no aterro sanitário com valas, nascentes de ribeirões, loteamentos recém edificados com calçadas ecológicas, locais com disposição inadequada de resíduos sólidos.

Após as visitas eram iniciadas discussões com os estudantes sobre o grau de conhecimento da legislação ambiental municipal, sendo observado a falta de conhecimento sobre os dispositivos legais ambientais municipal.

Além de desconhecem a legislação ambiental municipal, os estudantes não correlacionaram também as “exigências legais” com o respectivo impacto positivo ambiental.

Destas discussões foi possível concluir que há necessidade de se intensificar a disseminação da legislação das leis municipais ambientais e seus reflexos positivos, a fim de contribuir para a mudança de comportamento da população no sentido de que observem os dispositivos legais ambientais e deem sua efetiva contribuição para a proteção do meio ambiente, buscando a sustentabilidade a vida nas cidades.

Ao tratar da Educação Ambiental como um processo de construção SANTOS observa que: para além dos conceitos trazidos pela Constituição sobre a eficácia da conscientização e da preservação ambiental – sendo mais adequadamente referenciados os termos sensibilização e conservação ambiental – na busca pela inserção dos valores humanos nesse contexto, o avanço trazido pela carta magna está pautado, principalmente, no reconhecimento da EA enquanto processo de construção cidadã nas escolas, abrindo, também, espaço para seu desenvolvimento em ambientes externos a ela.

Considerações Finais

O presente artigo tem a pretensão não só de buscar a preservação e proteção das bacias hidrográficas em que os Municípios estão inseridos, mas fomentar a transformação social por intermédio da educação ambiental.

Constatamos que há legislação ambiental municipal não é devidamente difundida a seus destinatários. Além da necessidade de disseminar o conhecimento relacionado aos dispositivos municipais ambientais, necessário se faz também correlacionar cada dispositivo com o impacto positivo que acarretará para o meio ambiente e conseqüentemente para uma melhor qualidade de vida para todos.

O momento para essa educação ambiental é agora, não só nas escolas, mas nos diversos meios de comunicação disponíveis. Uma educação que abranja toda a sociedade.

É preciso, por intermédio das novas linguagens e tecnologias levar aos estudantes as diversas legislações municipais que tratam do meio ambiente e por consequência contribuem para impactos positivos na proteção e preservação do meio ambiente.

Identificar dispositivos inseridos na legislação municipal ambiental de Teodoro Sampaio e correlaciona-los com os impactos positivos decorrentes de seu cumprimento, contribui de forma a modificar o comportamento e a visão dos cidadãos para com as medidas que devem ser executadas no perímetro urbano para proteção das micro bacias e bacias hidrográficas, amenização das temperaturas, erradicação ou minoração da poluição, entre outros fatores que levam a melhora qualidade de vida.

Desta forma, entende-se que a legislação ambiental municipal se apresenta como fator importante, sendo que sua observância trará maior qualidade de vida para todos.

Abraço simbólico ao Meio Ambiente com os Estudantes da Escola Arthur Ribeiro



Crédito: Hugo Régis Soares

Para que se possa possibilitar cumprimento voluntario da legislação municipal ambiental é necessário que seja divulgada de forma eficiente, embora segundo Paulo Freire (2001), “ninguém conscientiza ninguém, ninguém se educa sozinho”. Mais do que quem oferece a educação depende de que a recebe.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo dom da vida; a minha esposa Mônica pelo apoio que tem me dado em todas as minhas decisões, até mesmo nas mais loucas; aos meus filhos Mateus e Arthur por entender a minha ausência, tempo este que não volta mais; ao Programa de Mestrado Profissional de Geografia da Unesp por me permitir buscar minha transformação enquanto ser humano; e ao meu orientador de Mestrado Dr Claudio Antonio Di Mauro, que entre tantos ensinamentos que em me transmitido, não

posso deixar de destacar a sua grande mensagem, ou seja: “a sua história de vida”, meus agradecimentos ao Secretário de Obras Gustavo Garcia de Andrade, ao Secretário de Limpeza Pública e Meio Ambiente Elton Martins, e a Coordenadora do Meio Ambiente Nelci Francisca de Lima; e por fim agradeço a Vice Diretora Tânia Mara dos Santos, vice Diretora, a Coordenadora Maria Aparecida Dutra Moscatelli e aos estudantes do 2º ano do Ensino Médio de 2019 da Escola Arthur Ribeiro de Teodoro Sampaio - SP.

Referência Bibliográfica

AMADO, Frederico Augusto Di Trindade, Direito ambiental esquematizado. 4. ed. Rio de Janeiro: Forense; São Paulo: Método, 2013.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em 06 Ag. 2019

DUARTE, Marise Costa de Souza. Direito Ambiental, Recursos Hídricos e Saneamento. São Paulo: Letras Jurídicas, 2017.

FRANCELIN, Lismaria Polato. O ensino de geografia e a educação ambiental: um estudo de caso com resíduos sólidos urbanos em Bauru (SP) / Lismaria Polato Francelin. - Rio Claro, 2015. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139392/000864653.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 29 Out. 2019

FREIRE, P. Pedagogia ao oprimido. O mundo de hoje. 30ª Ed. v.21. Rio de Janeiro (RJ), Paz e Terra, 2001. 85p.

Identidades da educação ambiental brasileira / Ministério do Meio Ambiente. Diretoria de Educação Ambiental; Philippe Pomier Layrargues (coord.). – Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 156 p.; 28cm. Disponível em <https://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/livro_ieab.pdf>. Acesso em 06 Ag. 2019

HAYASHI, Carmino; ALMEIDA E SILVA, Leonardo Henrique de. Políticas Públicas de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: Um Estudo de Caso do Município de Ribeirão Preto, SP. XI Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 11, n. 7, 2015, pp. 65-79. Disponível em: <<file:///F:/Mestrado%20-%20Pol%C3%ADticas%201224-2459-1-SM.pdf>> Acesso em 29 Out. 2019

JACOBI, Pedro Roberto. Educar na sociedade de risco: o desafio de construir alternativas. Pesquisa em Educação Ambiental, v.2, n.2, p. 49-65, 2007 DOI:<http://dx.doi.org/10.18675/2177-580X.vol2.n2.p49-65>. Disponível em: <<file:///F:/Mestrado%20-%20Educar%20na%20sociedade%20de%20risco.pdf>> Acesso em 29 Out. 2019

JUSTINO, Eliane Aparecida; MARTINS DE PAULA, Heber; PAIVA, Ed Carlo Rosa. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do Município de Uberlândia –

MG João Pessoa. vol. 13 nº 2 jul/dez. 2011 páginas: 16 - 38. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/view/16884>> Acesso em: 6 ag. 2019.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Pisco Azul, 2019. Disponível em <https://www.piscodeluz.org/desenvolvimento-sustentavel?gclid=CjwKCAiAqOriBRAfEiwAEb9oXT09pu2gyEhz28HwPhn1gYPBPY4OrDePe_4vBMgnqg7wEAZd56Ki6BoCG9YQAvD_BwE> Acesso em 06 fev. 2019.

O Programa. Verdeazuldigital, 2019. Disponível em <<http://verdeazuldigital.sp.gov.br/site/o-projeto/>> Acesso em: 06 fev. 2019.

ROBATTINI, Marjorie Merighi. Natureza privada: a percepção ambiental dos condôminos sobre a preservação de áreas verdes urbanas e sua importância no planejamento urbano e manejo dos remanescentes. 2016. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências (Campus de Rio Claro), 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/155799>>. Acesso em 29 Out. 2019

SANTOS, Luiz Ricardo Oliveira; SOUZA, Rosemeri Melo e; COSTA, Jailton de Jesus. Educação Ambiental e Exame nacional do Ensino Médio: (Cor)Relações e Implicações de uma Abordagem em Macroescalas Geográficas. Disponível em: <<file:///F:/Mestrado%20-12939-Texto%20do%20artigo-72066-1-10-20190119.pdf>> Acesso em: 28 out. 2019

TEODORO SAMPAIO. A Cidade. Disponível em: <<http://www.teodorosampaio.sp.gov.br> > Acesso em: 06 ag. 2019

Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. nacoesunidas, 2019. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>> Acesso em 06 fev. 2019

TEODORO SAMPAIO (SÃO PAULO). In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2019. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Teodoro_Sampaio_\(S%C3%A3o_Paulo\)&oldid=55276491](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Teodoro_Sampaio_(S%C3%A3o_Paulo)&oldid=55276491)>. Acesso em: 06 ag. 2019.

VIEIRA, Rosângela Gonçalves Vieira; MALTA, Flávio José Nery Conde. Educação Ambiental na Gestão do Meio Ambiente: uma diretriz de Política Pública para o Município de Resende, RJ. Disponível em < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos10/377_Educacao%20Ambiental.pdf> Acesso em 29 Out. 2019

ANÁLISE DO BANCO DE GERMOPLASMA VEGETAL DO IFAM: MORFOMETRIA DE SEMENTES E CRESCIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE CACAU (*THEOBROMA CACAO* L.)

| ID 19274 |

1André Vilhena de Oliveira, 2Nidianne Nascimento Vilhena, 3Alice Lima de Souza, 4Jonathas Barroso Lima, 5Jeisiane Pinto Rocha da Silva

1-Professor – Pesquisador, Dr., Pós-Dr.: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, e-mail: andre.vilhena@ifam.edu.br ; 2- Professora –Pesquisadora, Dra, Pós-Dra.: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, e-mail: nidianne.nascimento@ifam.edu.br 3- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, e-mail: aliceh2213@gmail.com; 4- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, e-mail: jonathaslima@ufam.edu.br; 5- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, e-mail: jeisianerocha16@gmail.com

Palavras-chave: Banco de Germoplasma Vegetal, Morfometria, Cacau, Sementes.

Resumo

Neste trabalho apresentamos o processo de construção de um banco de germoplasma, morfometria das sementes, crescimento inicial e produção de mudas de cacau (*Theobroma cacao* L.). O banco de germoplasma constitui uma estratégia exsitu de conservação da variabilidade genética de espécies vegetais, em as espécies vegetais são mantidas fora do seu ambiente natural. O cacau (*Theobroma cacao* L.) é uma espécie nativa da Amazônia e bastante apreciada tanto in natura quanto em produtos industrializados. Destaca-se como um produto agrícola do tipo commodity assim como a soja ou o milho. Atualmente, o cacau não é apenas aproveitado para a fabricação de chocolate. A indústria farmacêutica e dos cosméticos encontrou nele elevado potencial. A extração do óleo ou manteiga permite a criação de perfumes, xampus, sabonetes e cremes hidratantes. Os frutos de cacau utilizados nesse estudo foram provenientes de cinco matrizes localizadas em três municípios do estado do Amazonas: Careiro Castanho, Manacapuru e Manaus. Foram selecionadas cinquenta sementes (dez de cada matriz) para compor o banco de germoplasma e outras cinquenta sementes para determinação do grau de pureza, para avaliação morfométrica e produção de mudas. Foi realizado também o acompanhamento do crescimento inicial das plântulas analisando-se o tempo

de aparecimento da primeira folha, altura das plântulas, número de folhas, índice de germinação e taxa de mortalidade. Por fim, produzimos mudas de cacauzeiros visando a doação para moradores locais. A criação do banco de germoplasma constituiu numa etapa fundamental no desenvolvimento desse trabalho. Ele foi resultado da coleta, limpeza, secagem e conservação das sementes e será entregue ao Laboratório de Germoplasma do Instituto Federal do Amazonas-IFAM. Quanto à morfometria das sementes, foi observada dimensões bem menores que as encontradas em outros trabalhos sobre o tema. Acreditamos que fatores genéticos e fatores ambientais podem estar associados a este resultado. Além disso, a amostra de sementes apresentou elevado grau de pureza consistindo em 94,42% e 100% de germinabilidade, ou seja, todas as sementes induzidas à germinação por meio de uma câmara úmida obtiveram sucesso na emergência da radícula. A velocidade de germinação das sementes foi calculada em aproximadamente 4 dias. Quanto ao crescimento inicial, as plântulas apresentaram aspectos saudáveis e normais observados em dois estágios de crescimento diferentes. As plântulas no primeiro estágio apresentaram cotilédones bastante desenvolvidos e folíolos que apareceram por volta do 14º dia após a semeadura saindo da gema apical. A média da altura foi de $5,3 \pm 1,5$ cm apresentando pouca variação comparado com o estágio mais avançado de crescimento. No segundo estágio, as plântulas ainda contavam com os cotilédones e as folhas aumentaram significativamente de tamanho, o número de folhas variou de dois a seis e agora saem não apenas da gema apical, mas também da gema lateral. A altura média nesse estágio foi de $15 \pm 3,6$ cm, apresentando uma variação maior em relação ao estágio anterior. Além disso, realizamos um levantamento sobre o potencial oleaginoso do cacau, com destaque para sua importância na indústria cosmética e na saúde. Na indústria de cosméticos o óleo da polpa de cacau é utilizado na fabricação de xampus, loções e hidratantes. Destaca-se ainda o uso da manteiga de cacau na fabricação de protetores labiais e na culinária pois é um produto comestível. Na saúde os extratos de cacau podem ser utilizados no tratamento de doenças cardiovasculares, pois atua na redução da pressão arterial.

Introdução

As elevadas taxas de erosão de recursos genéticos combinado com a perda de componentes da biodiversidade em virtude da maciça destruição de habitats, tanto pela seleção natural como também pelos fatores bióticos e abióticos, tem acelerado o interesse pela conservação de germoplasma. A conservação de recursos genéticos, por meio da manutenção de coleções de germoplasma, é uma realidade em vários países, através do estabelecimento de bancos de germoplasma. Os estudos nesta

área concentram-se no desenvolvimento de técnicas para a conservação em longo prazo da variabilidade genética de espécies vegetais, com a máxima integridade genética e biológica possível.

Dentre as estratégias utilizadas para a conservação, destacam-se aquelas denominadas *in situ* e *ex situ*. Para CORDEIRO (1993), a conservação *in situ* refere-se à manutenção das espécies selecionadas no seu habitat natural em parques, reservas biológicas ou reservas ecológicas. Deve-se considerar, entretanto, que este método é oneroso, visto depender de eficiente e constante manejo e monitoramento, pode exigir grandes áreas, o que nem sempre é possível.

A conservação *ex situ* é aquela onde as espécies vegetais são mantidas fora do seu ambiente natural, através de coleções de plantas no campo, de sementes em bancos de sementes, ou de coleções de plântulas em bancos *in vitro*. Para o desenvolvimento desta pesquisa, utilizaremos a forma mais comum de conservação *ex situ*, utilizando a semente de cacau como fonte de pesquisa para o desenvolvimento desta espécie em bancos germoplasma.

Segundo MENDES (2000), o uso e o aproveitamento do cacau remontam aos povos indígenas da América Central e da Amazônia. Maias e Astecas foram os primeiros a descobrir as potencialidades da planta, desenvolvendo o alimento mundialmente conhecido como chocolate. Os colonizadores espanhóis encarregaram-se de disseminar o produto, exportando-o primeiramente para a Europa e, de lá, para o resto do mundo. Neste contexto, de acordo com COUTO (2011), o cacau destaca-se como um produto agrícola, e é considerado uma commodity, como a soja ou o milho. Ou seja, seu preço está definido pelas dinâmicas de procura e oferta em âmbito mundial, mediante o movimento das bolsas de valores.

Theobroma cacao L, que em grego significa “alimento dos deuses”, é o nome científico do cacauzeiro. Em seus estudos, FERREIRA (2013) estima que a origem do cacau se iniciou nas nascentes dos rios Amazonas e Orenoco, cujas águas dispersaram sementes da planta pelo norte do continente sul-americano e pela América Central, chegando até o México. No Brasil, o cacau tornou-se conhecido como uma das chamadas “drogas do sertão”, sendo estudado e cultivado no período colonial pelas primeiras missões jesuíticas.

De acordo com ALMEIDA (1986), o cacauzeiro é uma planta de clima quente e úmido que prefere o solo argilo-arenoso. Esta árvore possui duas fases de produção de frutos: temporão (março a agosto) e safra (setembro a fevereiro). Sua propagação se dá por sementes (seminal/sexuada) e de forma vegetativa (assexuada). Por ser uma planta tolerante à sombra, vegeta bem em sub-bosques e matas raleadas sendo, portanto, uma cultura extremamente conservacionista de solos, fauna e flora

Atualmente, o cacau não é apenas aproveitado para a fabricação de chocolate. A indústria farmacêutica e dos cosméticos encontrou nele elevado potencial. O potencial oleaginoso dessa espécie possibilita movimentar fortunas com a criação de perfumes, xampus, sabonetes e cremes

hidratantes. dessa espécie se destaca na saúde como um aliado da hipertensão pois contém compostos bioativos que tem a capacidade de se reduzir a pressão arterial (Gliglio et al., 2018)

Considerando as possibilidades de conservação através da instalação de bancos de germoplasma, a necessidade de se analisar parâmetros biométricos de sementes e a importância do cacau em diversos setores da economia. O objetivo desse trabalho foi construir um banco de germoplasma in vitro para a espécie *Theobroma cacao* L. além de realizar a morfometria das sementes, avaliar o crescimento inicial das plântulas e produzir mudas viáveis além de fazer um levantamento sobre o seu potencial oleaginoso.

Material e métodos

Coleta dos frutos de cacau

Foram coletados frutos maduros e intactos de cacau (*Theobroma cacao* L.) provenientes de cinco matrizes diferentes, sendo três localizadas na cidade de Manaus, uma no município Manacapuru e uma no município de Careiro Castanho, todos no estado do Amazonas (figura 1). A escolha das árvores matrizes seguiu critérios adotados por FOWLER & MARTINS (2001) os quais incluíam: seleção de árvores saudáveis e vigorosas, coleta de árvores distantes uma das outras visando reduzir o grau de endogamia, evitar a coleta de sementes de árvores decrépitas, cujas sementes apresentam baixa qualidade fisiológica; evitar coleta de sementes de populações com grande quantidade de árvores mal formadas, doentes, ou com pragas e a marcação das árvores-matrizes com o auxílio do GPS.

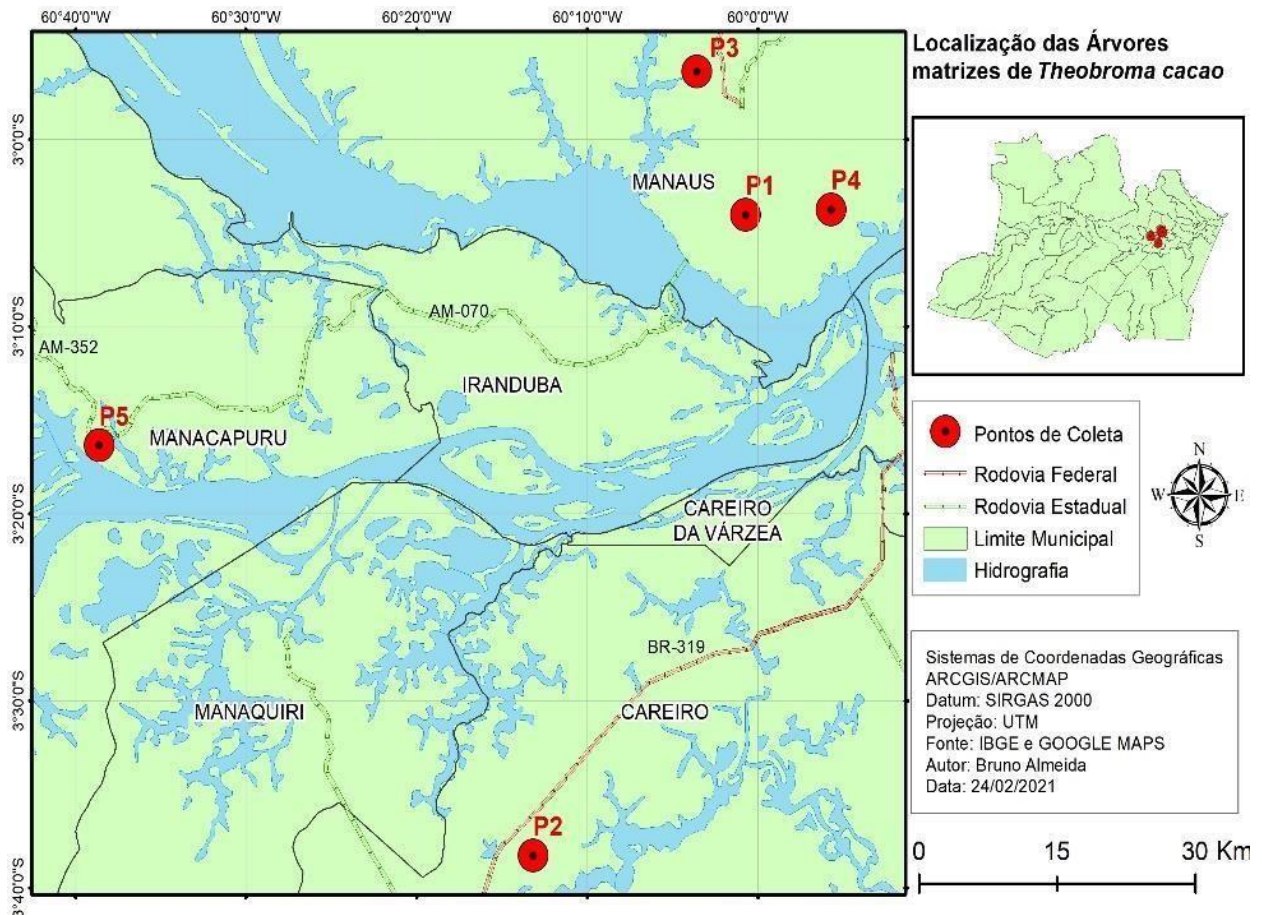


Figura 1. Localização geográfica das árvores matrizes de *Theobroma cacao* L. utilizadas nesse estudo.

Avaliação de parâmetros de qualidade das sementes

Após a colheita dos frutos, as sementes foram retiradas manualmente e a mucilagem foi retirada por meio de fricção com as mãos em areia de construção e, posterior lavagem em água corrente. Cinquenta sementes foram selecionadas para compor o banco de germoplasma e outras cinquenta foram selecionadas para a determinação do grau de pureza e para avaliação morfométrica (comprimento, largura, espessura, peso e volume) (Figura 2). Utilizou-se uma régua padrão e uma balança comum de alimentos para a medição das variáveis biométricas. Posteriormente, as sementes foram induzidas ao processo de germinação através de uma câmara úmida improvisada utilizando-se uma caixa plástica e papel toalha. Foi realizado também o acompanhamento do crescimento inicial das plântulas analisando-se os seguintes aspectos:

tempo de aparecimento da primeira folha, altura das plântulas, número de folhas, índice de germinação e taxa de mortalidade. Após o desenvolvimento total das mudas elas serão doadas aos moradores locais para implantação de um viveiro experimental e como ação estratégica de educação ambiental, arborização e recuperação de áreas degradadas



Figura 2. Procedimentos adotados para a criação do banco de germoplasma e produção de mudas de cacao.

Construção do banco de germoplasma vegetal

As cinquenta sementes selecionadas (dez de cada matriz) para compor o banco de germoplasma, passaram obrigatoriamente pelo processo de secagem. Esse processo ocorreu de forma natural, durante cinco dias e no período das 9h até 11h da manhã, tendo o sol como fonte de calor e a ventilação como movimento natural do ar. Os procedimentos de secagem foram adotados de acordo com DIAS e colaboradores (2006a). Uma caixa de madeira com cinquenta divisões e uma tampa de vidro foi adquirida para armazenar as sementes secas. Foi utilizada também uma placa de espuma de polietileno expandido (EPE), conhecida também como Ethafoam para acomodação das sementes em cada célula da caixa (Figura 3). Essa placa foi cortada em tamanho adequado para se encaixar em cada uma das células da caixa de madeira, em seguida as sementes secas foram acondicionadas na caixa. As principais características dessa placa consistem na minimização de impactos mecânicos diretos sobre as sementes e manutenção

do equilíbrio higroscópico, ou seja, evitar a perda ou ganho de umidade das sementes. Equilíbrio Higroscópico é a relação dinâmica entre a pressão de vapor do ar ambiente e a pressão da semente ou grão. As sementes são higroscópicas, perdem e ganham água de acordo com a umidade relativa e a temperatura do ambiente de armazenagem, buscando sempre atingir um ponto de equilíbrio (FREIRE et al, 2002).

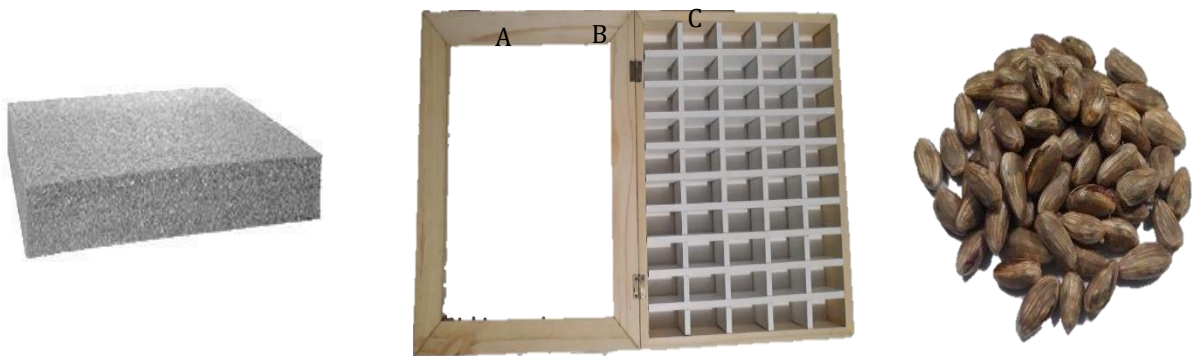


Figura 3. Materiais utilizados para a construção do banco de germoplasma de cacau (*Theobroma cacao* L.). (A) Placade espuma de polietileno. (B) Câmara seca de madeira. (C) Sementes secas de cacau.

Resultados e Discussão

Banco de germoplasma vegetal

A criação do banco de germoplasma de cacau *Theobroma cacao* L. constituiu numa etapa fundamental no desenvolvimento desse trabalho. Resultado da coleta, limpeza, secagem e conservação das sementes, o banco de germoplasma permitiu o armazenamento e preservação de genótipos das cinco matrizes de cacau localizados em Manaus, Manacapuru e Careiro Castanho-AM. O avanço da agropecuária, notadamente sobre áreas preservadas tem se tornado o principal agente causador da redução da biodiversidade no planeta (VEIGA et al., 2011). Outra justificativa para coletar e conservar é em razão da rápida degradação dos ecossistemas naturais, substituídos por cultivos cada vez mais uniformes, prática que tem causado extinção em larga escala de recursos genéticos (YONEZAWA, 1989). Além disso, o banco de germoplasma é uma ferramenta com grande importância didático-pedagógica. Devido a sua simplicidade e baixo custo, ela permite levar conhecimentos sobre conservação de espécies de plantas nativas para as comunidades ribeirinhas, escolas e bairros periféricos. A Câmara seca e sua composição para a preservação das sementes além de contribuir para a manutenção do Banco de Germoplasma Vegetal do IFAM

- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas também contribui para o desenvolvimento da educação ambiental na Amazônia.



Figura 4. Banco de germoplasma de cacau *Theobroma cacao* L

Avaliação Morfométrica das sementes

A avaliação morfométrica das sementes de *Theobroma cacao* L. demonstrou que elas possuem formato cilíndrico e alongado, tendo seu comprimento um pouco maior que a largura e espessura. O comprimento médio das sementes encontrado nesse estudo foi de $1,99 \pm 0,39$ cm, a largura de $0,87 \pm 0,26$ cm e a espessura de $0,59 \pm 0,30$ cm (Tabela 1), esses dados diferem da maioria dos resultados de trabalhos sobre o tema encontrados na literatura. No trabalho de VENIAL et al (2017) sobre a biometria de frutos e sementes de vários genótipos de *Theobroma cacao* L., o tipo comum apresentou menor valor de comprimento, largura e espessura e que ainda assim foram maiores do que os encontrados nesse trabalho. Segundo BEZERRA et al. (2012), fatores ambientais, abióticos e bióticos, contribuem para o estabelecimento do padrão morfométrico das espécies e GUSMÃO et al., 2006 acrescenta que a biometria das sementes constitui um instrumento importante para detectar a variabilidade genética dentro das populações de uma mesma espécie, e as relações entre esta variabilidade e os fatores ambientais

Tabela 1 – Medidas biométricas de sementes de cacau (*Theobroma cacao* L.) provenientes de matrizes localizadas nos municípios de Manaus, Manacapuru e Careiro Castanho-AM (n=50)

Variáveis	Comprimento	Largura	Espessura	Massa* (g)	Volume (cm ³) **
	cm				
Média	1,99	0,87	0,59	-	1,12
Menor valor	0,80	0,50	0,30	-	0,30
Maior valor	2,90	1,90	2,10	-	8,75
Mediana	2,00	0,80	0,50	-	0,88
Variação	0,39	0,26	0,30	-	1,26
Valor total				71	

*Massa de 50 sementes limpas e secas.; **Volume calculado a partir da multiplicação do comprimento, largura e espessura

A análise da distribuição de frequência das variáveis contínuas de comprimento, largura e espessura das sementes de cacau mostram que apenas o comprimento apresentou uma distribuição normal (Figura 5). Isso indica que a maioria das sementes apresentaram comprimento variando em torno da média. Enquanto que a largura e a espessura foram variáveis que apresentaram maior grau de dispersão, ou seja, a medida de largura e espessura das sementes apresentaram grandes variações sem torno da média e se concentraram em uma ou duas classes de frequência.

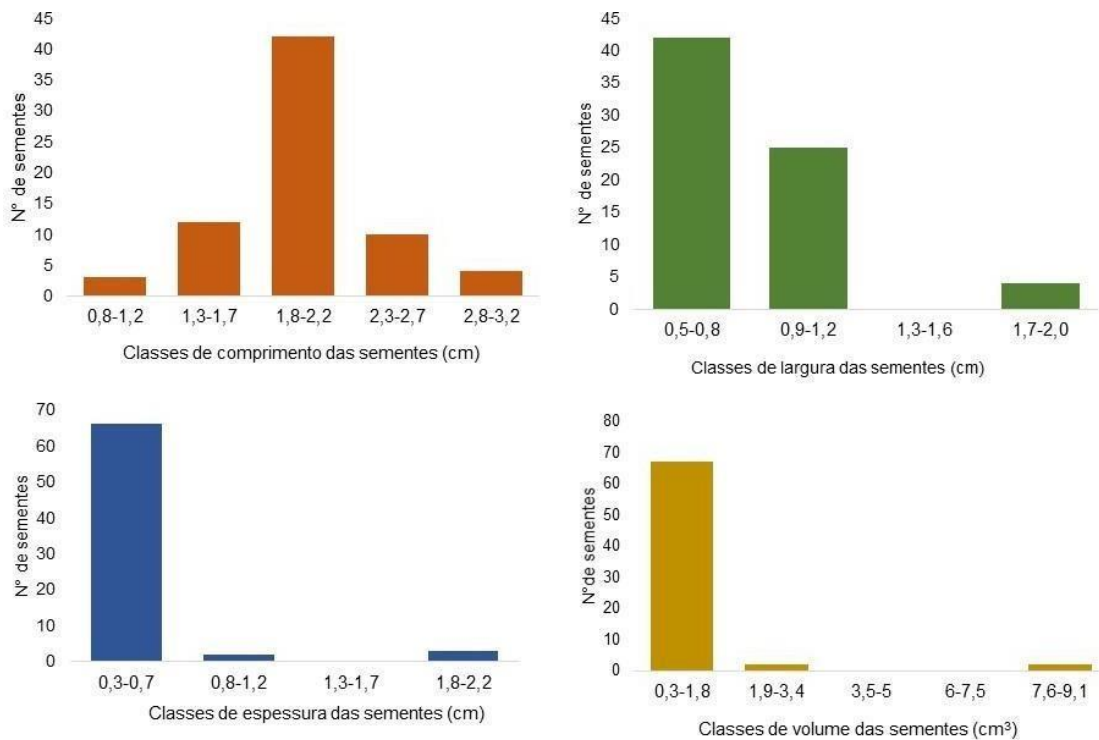


Figura 5. Histograma de frequência das variáveis biométricas (comprimento, largura, espessura e volume) de uma amostra de 71 sementes de cacau (*Theobroma cacao* L.)

Grau de pureza das sementes

Em relação ao percentual de pureza, a amostra de cinquenta sementes de cacau apresentou valor percentual de 93,42%, considerado um elevado grau. Segundo DEICHMANN (1967), a pureza é determinada pelo exame individual de cada semente da amostra a ser testada. Qualquer semente com aparência externa normal é contada como perfeita; se a casca apresentar rachaduras ou se há furos feitos por insetos, as sementes são classificadas como impureza. A porcentagem de pureza foi calculada através da seguinte fórmula

:

$$\text{Pureza} = \frac{\text{Peso das sementes limpas e perfeitas}}{\text{Peso das sementes} + \text{impurezas}} \times 100$$

$$\text{Pureza} = \frac{71 \text{ g}}{71 \text{ g} + 5 \text{ g}} \times 100 \rightarrow \frac{71 \text{ g}}{76 \text{ g}} \times 100 \rightarrow 0,9342 \times 100 \rightarrow 93,42\%$$

Germinabilidade

Além da análise morfométrica das sementes foi calculada também a germinabilidade da amostra, ou seja, o percentual de sementes germinadas em relação ao total de sementes dessa amostra. Nesse estudo, esse percentual foi igual a 100%, indicando que todas as sementes da amostra tiveram sucesso na germinação. O percentual de germinação foi calculado através da fórmula:

$$\%G = \frac{(SG)}{TS} \times 100$$
$$\%G = \frac{(50)}{50} \times 100 \rightarrow 1 \times 100 = 100\%$$

Onde:

%G= percentual de germinação

SG=Número total de sementes germinadas (50) TS=Número total de sementes (50)

Velocidade de germinação

Outro parâmetro avaliado foi a velocidade de germinação, obtida através do cálculo do tempo médio, em dias, necessário para determinado número de sementes germinar. Caracterizou-se como germinação a observação da emergência da radícula através do tegumento das sementes de cacau. A velocidade de germinação obtida nesse estudo foi de em média 3,96 dias e esse cálculo foi feito de acordo com EDWARDS (1934) a partir da seguinte fórmula:

$$T = \frac{G1 \cdot T1 + G2 \cdot T2 + \dots + Gn \cdot Tn}{G1 + G2 + \dots + Gn}$$
$$T = \frac{(26 \cdot 3) + (24 \cdot 5)}{26 + 24} = \frac{78 + 120}{50} = \frac{198}{50} = 3,96 \text{ dias}$$

Onde:

T=tempo médio de germinação em dias

G1=número de sementes germinadas no intervalo de tempo T1 G2= número de sementes germinadas no intervalo de tempo T2 T1= 3 dias e T2 =5 dias

G1 = 26 e G2 = 24

Crescimento inicial das plântulas

Finalmente as sementes germinadas se desenvolveram em plântulas saudáveis, devido a diferença na data de semeadura, uma parte delas está numa fase de crescimento mais avançada que a outra. A figura 6 mostra a variação e a média da altura das plântulas de cacau com 18 dias após a semeadura. As plântulas nesse estágio contam com a presença dos cotilédones bastante desenvolvidos e folíolos que apareceram por volta do 14º dia após a semeadura saindo da gema apical. A média da altura foi de $5,3 \pm 1,5$ cm apresentando pouca variação comparado com o estágio mais avançado de crescimento.

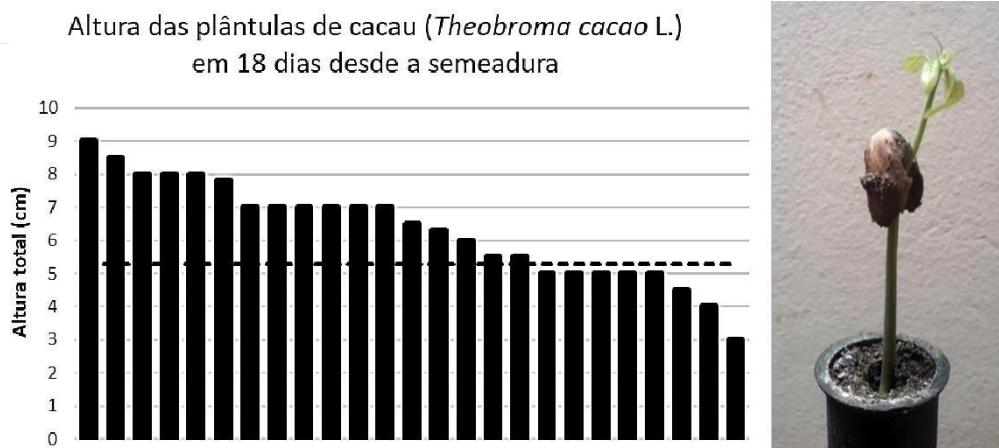


Figura 6. (A) Altura das plântulas de cacau *Theobroma cacao* L. com 18 dias após a semeadura. A linha tracejada indica a altura média observada. (B) Plântula com 18 dias após semeadura

A figura 7, por sua vez, mostra a variação da altura das plântulas de cacau com 25 dias após a semeadura. As plântulas nesse estágio ainda contam com os cotilédones e as folhas aumentaram significativamente de tamanho, o número de folhas variou de dois a seis e agora saem não apenas da gema apical, mas também da gema lateral. A altura média nesse estágio foi de $15 \pm 3,6$ cm, apresentando uma variação maior em relação ao estágio anterior. Isso evidencia que a maioria das plântulas apresentam um ritmo parecido de crescimento no estágio inicial, mas esse ritmo se altera ao longo do tempo, fazendo com que algumas plântulas se desenvolvam mais rápido que outras. Cabe lembrar que todas as plântulas estão se desenvolvendo sob as mesmas condições de substrato, temperatura e umidade, as diferenças de crescimento, dessa forma, se devem a aspectos fisiológicos e genéticos das sementes.

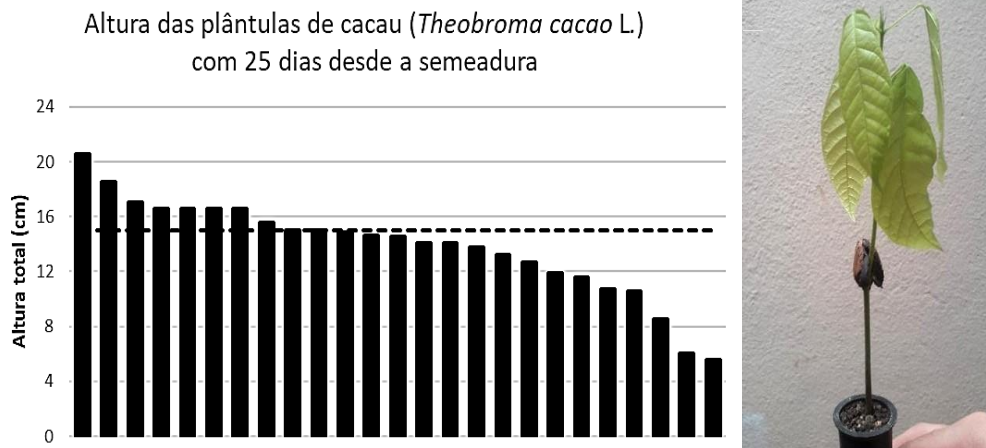


Figura 7. (A) Altura das plântulas de cacau *Theobroma cacao* L. com 25 dias após a semeadura. A linha tracejada indica a altura média observada. (B) Plântula com 25 dias após a semeadura

Não houve mortalidade de plântulas e todas as sementes que foram semeadas se encontram em estágio de crescimento avançado (Figura 8). Após o desenvolvimento total das plântulas em mudas, pretende-se fazer a doação para moradores de áreas urbanas e rurais dos municípios de Manaus, Manacapuru e Careiro Castanho-AM. Essa ação visa completar o ciclo de propagação do cacau, bem como fornecer à comunidade mudas de alta qualidade de um fruto bastante apreciado e consumido na Amazônia em todo o Brasil.



Figura 8. Mudanças de cacau (*Theobroma cacao* L.) com 31 dias após a semeadura. Quando atingirem 70 cm de altura serão doadas e estarão prontas para plantio.

Tendo como base os resultados do teste de pureza, taxa de germinação e velocidade de germinação das sementes de cacau provenientes das cinco matrizes coletadas bem como o crescimento inicial das plântulas, constatamos que as cinco matrizes apresentaram características desejáveis de

vigor e reprodução (Figura 9). As cinco matrizes analisadas apresentaram diâmetro à altura do peito em torno de 20,3 a 26,7 cm, volume médio das sementes entre 0,74 a 1,73 cm³ e taxas de germinação igual a 100% e mortalidade de plântulas de 0% até o presente momento. Os testes realizados nesse trabalho, no entanto, não foram suficientes para determinação de qual a melhor matriz de cacau obtida, dessa maneira outros parâmetros devem ser levados em conta para uma determinação mais precisa. A seleção de árvores-matrizes superiores deve basear-se nos seguintes parâmetros, propostos por FONSECA E KAGEYAMA (1978); AMARAL & ARALDI (1979); CAPELANES & BIELLA (1986): ritmo decrescimento; porte; forma do tronco; forma da copa; ramificação; vigor; densidade da madeira; e produção de sementes.

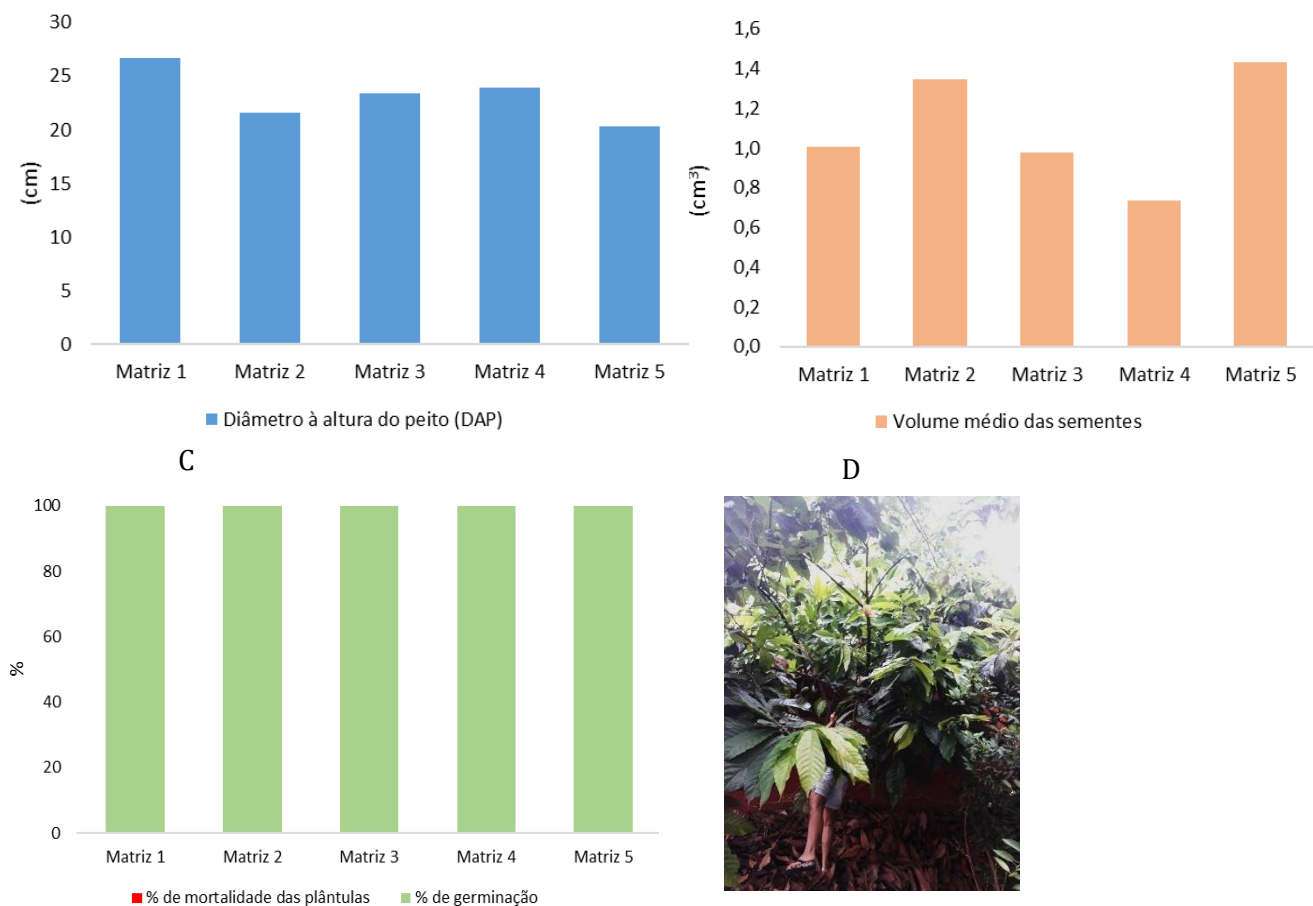


Figura 9. Comparação entre o diâmetro à altura do peito -DAP (A), volume médio das sementes (cm³) (B), taxa de germinação das sementes e taxa de mortalidade das plântulas de cada uma das cinco árvores-matrizes de *Theobroma cacao* L utilizadas nesse estudo (C). Fotografia da árvore-matriz 1 (D).

Potencial oleaginoso do cacau

O fruto do cacau divide-se em casca, polpa e sementes. As sementes são compostas por um gérmen e dois cotilédones, que apesar de serem envolvidas por uma camada de mucilagem doce, ainda assim tem sabor amargo (NOGUEIRA, 2015). Essas propriedades do cacau proporciona o conhecimento e exploração do seu potencial oleaginoso. Na área da saúde o cacau possui grande influência no sistema cardiovascular através de seus compostos bioativos, os quais têm capacidade de reduzir a pressão arterial significativamente e amenizar os efeitos de radicais livres (GIGLIO et al., 2018).

Há relatos que o cacau atua também na diminuição do LDL-colesterol e na queda da prevalência e incidência de doenças cardiovasculares. Isso porque contém altos níveis de compostos fenólicos (EFRAIM et al., 2011). Compostos fenólicos são um grupo de substâncias provenientes do metabolismo das plantas, dentre eles estão os flavonoides e procianidinas, os quais são encontrados no cacau e que quando presentes no organismo humano, exercem efeitos antioxidantes retardando o aparecimento de doenças, além de inibir a formação de infecções agudas e melhorar a saúde cardiovascular (EFRAIM et al., 2011).

A manteiga de cacau é considerada a parte mais importante do cacau devido às propriedades físicas e químicas que fornecem matéria-prima para as indústrias farmacêuticas e de alimentos. Há estudos evidenciando o uso do cacau em produtos cosméticos, como cremes corporais de uso tópico, onde através de seus diversos compostos antioxidantes vem demonstrando efeitos no combate ao envelhecimento cutâneo, além de grande capacidade de hidratação (SILVA et al., 2013). Na alimentação a popularidade do cacau vem, não só pelas suas propriedades funcionais, mas também pelo seu sabor e, principalmente, será matéria prima do chocolate (MEDEIROS, 2010).

Os óleos vegetais representam um dos principais produtos extraídos de plantas, sendo que aproximadamente 2/3 são usados em produtos alimentícios, fazendo assim parte integrante da dieta humana. Avaliando a composição de ácidos graxos (óleos e gorduras), LIENDO et al. 1997 determinou que a variedade *Criollo cultivaris* (predominante no Brasil) apresenta 62,5% de ácidos graxos saturados e 37,5% de insaturados. O baixo ponto de fusão e conseqüentemente o estado físico sólido da manteiga de cacau dá-se pela alta composição dos ácidos cetílico e esteárico, 26,2 e 36,8% respectivamente, da fração oleosa total.

Considerações Finais

Todas as etapas para a conclusão desse trabalho foram realizadas durante a pandemia de Covid-19, foram bastantes as dificuldades encontradas, entretanto, os todos os obstáculos foram

enfrentados. Espera-se concluir última etapa do trabalho que é entregar o banco de germoplasma ao Instituto Federal do Amazonas e fazer a distribuição de mudas aos moradores locais e às instituições de ensino público. Contribuindo, dessa forma, para a propagação de espécies frutíferas nativas da nossa região e desenvolvimento da consciência de conservação ambiental. Além da disseminação de informações sobre as propriedades alimentícias, nutricionais, cosméticas que o potencial oleaginoso do cacau pode trazer.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) por todo apoio didático prestado ao Professor Dr. André Vilhena de Oliveira por nos orientar da melhor maneira possível nesse trabalho e por contribuir grandemente para nossa formação científica e acadêmica.

Referências Bibliográficas

Almeida, L. C.; Brito, A. Manejo do cacau silvestre em várzea do estado do Amazonas, Brasil. *Agrotrópica*. Ilhéus, BA: Centro de Pesquisas do Cacau, 15 (1): 47 – 52. 2003.

Almeida, H.A. Influência de elementos meteorológicos no lançamento foliar, na floração e frutificação do cacau (*Theobromacacao* L.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1986. 111p. (Tese de Mestrado)

Amaral, D. M. I. & Araldi, D. B. Contribuição do estudo das sementes de essências florestais nativas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Trigo e Soja. 30 p. (Boletim Técnico, 43), 1979.

Bezerra, F. T. C. et al. Biometria de frutos e sementes e tratamentos pré-germinativos em *Cassia grandis* L. f. (Fabaceae). *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 1, p. 2863-2876, 2012.

Capelanes, T. M. C. & Biella, L. C. Programa de produção e tecnologia de sementes de espécies florestais nativas desenvolvido pela Companhia Energética de São Paulo – CESP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA DE SEMENTES FLORESTAIS, 10. Belo Horizonte, MG, Dez. 04-06, 1984. Anais... Brasília, IBDF. P. 85-107, 1984.

Cordeiro, A.; Faria, A.A. – Gestão de bancos de sementes comunitários. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. Cap2, p 47-60.

Couto, M. et al. Guia de boas práticas e certificação em propriedades de cacau. Piracicaba, SP: Imaflora e Instituto Cabruca, 2011.

Deichmann, V. Noções sobre Sementes e Viveiros Florestais. Universidade Federal do Paraná, 1ª Edição, UFPR, Curitiba, 1967.

Dias, E. et al. Manual de Produção de Sementes de Essências Florestais Nativas. Série: Rede de Sementes do Pantanal, nº 1. Campo Grande: Editora UFMS, 2006.

Edwards, T.I. Relations of germinating soybeans to temperature and length of incubation tinE. *Plant Physiology*, 9:1-30, 1934.

Efraim, P.; AlveS, A.B.; Jardim, D.C.P. Revisão: Polifenóis em cacau e derivados. *Brazilian Journal Of Food Technology*, [s.l.],v. 14, n. 03, p.181-201, 14. 2011.

Ferreira, A. C. R. et al. Guia de Beneficiamento de Cacau de Qualidade. Ilhéus, BA: Instituto Cabruca. 2013. 52 p. ISBN 978-85-66124-01-9. Disponível em: http://nbcgib.uesc.br/cacau/arquivos/producao_tecnico_cientifica/guia-beneficiamento-2.pdf.

Fonseca, S. M. & Kageyama, P. Y. Bases genéticas e metodologias para seleção de árvores superiores de Pinus taeda. IPEF, Piracicaba, (17):35-9. 1978.

Fowler, J.A.P.; Martins, E.G. Manejo de sementes de espécies florestais. Colombo: Embrapa Florestas. Documentos, 58. 2001. 76 p. ISSN 1517-536X

Freire, A. de B.; Freire, M. S.; Zimmermann, F. J. P. Monitoramento de germoplasma de arroz em câmara de conservação. *Ciênc.agrotec.*, Lavras. V.26, n.5, p.943-948, set./out., 2002

Giglio, R. V. et al. Polyphenols: Potential Use in the Prevention and Treatment of Cardiovascular Diseases. *Current Pharmaceutical Design*, [s.l.], v. 24, n. 2, p.239-258, 5 abr. 2018.

Gusmão, E. Vieira, F. de A. Júnior, É. M. da F. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. ex A. Juss.). *Cerne*, v. 12, n. 1, p. 84-91, 2006.

Liendo, R.; Padilla, F. C.; Quintana, A. Characterization of cocoa butter extracted from Criollo cultivaris of *Theobroma cacao* L. *Food research international*, v.30,n.9, p.727-731,1997.

Medeiros, M.L.; Lannes, S.C.S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, [s.l.], v. 30, p.243-253, maio 2010.

Mendes, F. A. A cacauicultura na Amazônia brasileira: potencialidades, abrangência e oportunidades de negócio. *Movendo Idéias*, Belém, 5(8): 53 - 61, dez./2000

Nogueira, B.L. Processamento do cacau: avaliação do teor nutricional do chocolate e dos outros derivados do cacau. 2015. 47 f.TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Bioquímica, Universidade de São Paulo, Lorena, 2015

Silva, S. Arandas M. e et al. Atividade antioxidante do extrato seco de cacau orgânico (*Theobroma cacao*): estudo de estabilidade e teste de aceitação de cremes acrescidos deste extrato. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, v. 34, n. 4, p. 493-501, 2013

Veiga, Renato & BARBOSA, WILSON & Tombolato, Antonio & Valls, José. (2011). Bancos de Germoplasma: importância e organização. In: COSTA, A. M.; HILSDORF, A.W.S.; MITTELMANN, A. Conservação de recursos genéticos no Brasil – Brasília, DF : Embrapa, 2012.

Venial, L. R. et al. Biometria e armazenamento de sementes de genótipos de cacauzeiros. *Pesquisa. florestal. brasileira.*, Colombo,v. 37, n. 89, p. 39-46. 2017

Yonezawa, K. Appropriate size of sample collecting germoplasms from natural plant populations. In: JICA. Exploration and collection of plant genetic resources. Part 1. Seed-propagated crops:JICA. Technical Assistance Activities for Genetic ResourcesProjects, n.2, 1989.p. 37-67.

PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (PNRSU) E A SUA RELAÇÃO COM OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

| ID 19392 |

1Joice Pinho Maciel, **2**Carlos Alberto Mendes Moraes

1Unisinos, e-mail: joicemaciel14@gmail.com; 2Unisinos, e-mail: cmoraes@unisinos.br

Palavras-chave: Plano Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Resumo

Este artigo apresenta uma análise do Plano Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos - 2011, versão preliminar para audiência pública, e informações do documento Trabalho da Comissão de Estatística pertencente à Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável - 2017 publicado pela Organização das Nações Unidas. Das 169 metas dos ODS analisadas, 50 tiveram algum alinhamento direto com eixo Resíduos Sólidos Urbanos do PNRSU, o que significa afirmar que, 29,5% das metas dos ODS possuem alinhamento com Diretrizes e Estratégias do PNRSU. Destacou-se no estudo a gestão de resíduos no contexto do ODS 12 sobre Consumo e Produção Responsáveis, que significa garantir uma vida saudável e um planeta saudável no futuro. A boa gestão destes é relevante e apoia a implementação de muitos outros, senão todos os ODS. Outros ODS que merecem destaques pela referida análise foram: 8 Trabalho decente e crescimento econômico; 6 Água Potável e Saneamento; 15 Vida terrestre; 4 Educação de qualidade; 3 Saúde e Bem-estar, todos a partir de seis ou mais metas interrelacionadas com os eixos do PNRSU.

Introdução

Bilhões de cidadãos continuam a viver na pobreza, além da crescente desigualdade dentro e entre os países. Os impactos se interacionam entre o econômico, social e ambiental, pois, aonde há pobreza e desigualdades, há degradação ambiental. O esgotamento dos recursos naturais e os impactos negativos da degradação ambiental, incluindo a desertificação, secas, a degradação dos solos, a escassez de água doce e a perda de biodiversidade acrescentam e exacerbam a lista de desafios que a humanidade enfrenta.

O Saneamento Básico ainda não é realidade no Brasil, que conforme dados do SNIS (2019), que aponta que em torno de 40% do esgoto gerado é tratado. No que se refere aos resíduos sólidos urbanos, 43,3 milhões de toneladas foram encaminhados aos aterros sanitários, de 43,3 milhões de toneladas das 79 milhões de toneladas geradas nesse período. (ABRELPE, 2019).

O Gerenciamento de Resíduos Urbanos, passa a ser dentre os eixos do saneamento, mais um desafio, uma vez que ainda temos em média 1.091 lixões em atividade no país, conforme os últimos dados do SNIS (2019). Este é também, no entanto, um momento de enorme oportunidade, onde a disseminação da informação e das tecnologias da comunicação e interconectividade global tem um grande potencial para acelerar o progresso humano e eliminar o fosso digital e para o desenvolvimento de sociedades do conhecimento, assim como a inovação científica e tecnológica em áreas diversas.

Muitas dessas soluções locais para a melhoria da gestão de resíduos sólidos urbanos estão sendo colocados em práticas por meio de mídias de aplicativos para celulares, os famosos APPs. Em São Paulo, o Cataki é um exemplo de aplicativo conecta geradores de resíduos com catadores, cooperativas, ponto de entrega voluntária, ecopontos e ferro velhos. A ferramenta é bem simples, basta verificar nos mapas disponíveis quais serviços estão mais próximos e fazer uma ligação para combinar a melhor forma de coleta.

Tal cenário aponta enormes possibilidades de melhorias em inovação no setor de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, que ainda precisam ser incentivados para micro, pequenas e médias empresas, gerando crescimento econômico ao país, ao mesmo tempo que protege o meio ambiente. Os objetivos de desenvolvimento sustentável também tem sido um instrumento para colocar na pauta diária, ações concretas voltadas para o saneamento, e entre os eixos, a gestão de resíduos sólidos que priorizam a redução, reutilização e reciclagem. Dessa forma, esse artigo pretende contribuir com informações sobre o alinhamento do Plano Nacional de Resíduos Sólidos e a agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável, auxiliando na proposição de atividades, indicadores e na promoção da educação ambiental.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma análise do Plano Nacional de Resíduos Sólidos - 2011, versão preliminar para audiência pública, e informações do documento Trabalho da Comissão de Estatística pertencente à Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável - 2017 publicado pela Organização das Nações Unidas.

Com base nas informações levantadas sobre o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do Plano Nacional, capítulo 3 - Diretrizes e Estratégias/ Resíduos Sólidos Urbanos, dos 17 objetivos e 169 metas da agenda 2030 dos Objetivos Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, foi elaborada uma matriz de correlação entre as diretrizes/estratégias dos Resíduos Sólidos Urbanos do PNRSU e os 17 ODS.

Para análise de correlação da referida matriz, foram analisadas cada eixo/ Diretrizes e Estratégias dos Resíduos Sólidos Urbanos em relação a cada Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODSS) e as suas 169 metas, buscando a correlação entre os temas, propostas e ações.

Foram analisadas as diretrizes e as principais estratégias relacionadas ao eixo Resíduos Sólidos Urbanos do PNRS, contendo os temas referentes à: Disposição Final Ambientalmente Adequada de Rejeitos; Redução da Geração de Resíduos Sólidos Urbanos; Redução dos Resíduos Sólidos Urbanos Secos dispostos em aterros sanitários e Inclusão de Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis; Redução de Resíduos Sólidos Urbanos Úmidos dispostos em aterros sanitários, tratamento e Recuperação de Gases em aterros sanitários.

O presente estudo não pretende discutir o novo Plano Nacional de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, o PLANARES, que encontra-se em fase de audiências para a sua aprovação.

Resultados

Uma análise do Plano Nacional de Resíduos Sólidos

A Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil efetivamente iniciou de maneira mais organizada a partir do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que foi um dos principais instrumentos criado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, Lei nº 12.305, de 2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 2010. O Decreto nº 7.404/2010 instituiu e delegou ao Comitê Interministerial - CI, composto por 12 ministérios e coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, principal responsável em coordenar a elaboração e a implementação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2019).

A versão publicada em Brasília, em setembro de 2011, foi a versão Preliminar para Consulta Pública. Conforme previsto na Lei 12.305/2010, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, tem vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, com atualização a cada 04 (quatro) anos, e apresentou o diagnóstico atual dos resíduos sólidos no Brasil e o cenário ao qual devemos chegar até 2031, por meio de diretrizes, estratégias e metas que orientam as ações para o Brasil implantar a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos.

De acordo com a PNRS (2010), só acessam os recursos da União os municípios e Estados que elaborarem os planos de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS). Essa premissa, vale também às

empresas brasileiras de diversos setores, que precisam elaborar seus PGRS sob pena de pagarem multas e em alguns casos até mesmo sofrerem outras penalidades.

O referido plano foi alinhado a outros planos nacionais, a exemplo do Plano Nacional de Mudanças do Clima (PNMC), de Recursos Hídricos (PNRH), de Saneamento Básico (Plansab) e de Produção e Consumo Sustentável (PPCS), aos quais, apresentam conceitos e propostas para diversos setores da economia associando crescimento econômico, preservação ambiental, com desenvolvimento sustentável.

A estrutura do Plano Nacional de Resíduos Sólidos foi definida em quatro capítulos, sendo o capítulo 1, o Diagnóstico da Situação dos Resíduos Sólidos no Brasil, elaborado pelo IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Em seguida o capítulo 2, que trata da construção de cenários, o capítulo 3 que apresenta as propostas de diretrizes e estratégias por tipo de resíduo, para definição das metas e por fim, o capítulo 4, com um descritivo geral dos Planos de Metas Favorável, Intermediário e Desfavorável por tipo de resíduo.

O capítulo 1 trata-se de um diagnóstico que descreve a situação da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil e as informações foram estruturadas seguindo o ciclo dos resíduos, desde a geração, coleta (tradicional e seletiva), até o tratamento e disposição final, além do fluxo de cada um dos materiais recicláveis.

Na gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos, foram incluídos temas como os catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; resíduos da construção civil; resíduos industriais; resíduos agrosilvopastoris; resíduos de mineração; resíduos de serviços de saúde; e resíduos de serviços de transportes.

O capítulo 2 aborda os cenários macroeconômicos e institucionais, alinhado com o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB, e descreve o Cenário 1, que indica um futuro possível e desejável, constituindo o ambiente para o planejamento e suas diretrizes e estratégias, metas, investimentos e procedimentos de caráter político-institucional necessários para alcançar o planejado.

Os Cenários 2 e 3 são descritos e mantidos como referências para o planejamento, caso o monitoramento do cenário indique significativos desvios do Cenário 1 em direção aos cenários alternativos, correções sejam implementadas nas premissas e proposições do Plano, incluindo metas e necessidades de investimentos.

O Capítulo 3 apresenta as principais Diretrizes e Estratégias relacionadas aos resíduos sólidos. As Diretrizes apresentadas referem-se às linhas norteadoras por grandes temas, enquanto as Estratégias referem-se a forma ou os meios, pelos quais as respectivas ações serão implementadas.

Portanto, as diretrizes e suas respectivas estratégias definirão as ações e os programas a serem delineados com vistas ao atingimento das metas.

O Capítulo 4 apresenta as metas de curto, médio e longo prazo para resíduos sólidos, que se espera alcançar no horizonte temporal do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. A periodicidade das metas foi definida de quatro em quatro anos, para coincidirem com os prazos do Plano PluriAnual (PPA) da União, quando estão previstas revisões deste plano.

As metas foram projetadas tendo como base os cenários descritos no Capítulo 2. Como a definição das metas não depende apenas dos cenários econômicos, estando atrelada também ao envolvimento e atuação dos três níveis de governo, da sociedade e da iniciativa privada, optou-se por apresentar três Planos de Metas: Proposta 1, com viés favorável, Proposta 2, com viés intermediário e Proposta 3, com viés pessimista.

No tocante à disposição final adotada pelos municípios, ainda não há muito o que se comemorar, pois menos de 40% dos municípios brasileiros declarantes no SNIS (2017), encaminham seus resíduos de maneira adequada.

Dos 2.052 ou seja, 36,9% dos municípios encaminham seus resíduos aos aterros sanitários – disposição adequada. Os 30% restantes encaminham de forma ambientalmente inadequada: 1.071 ou 19,2% municípios encaminham para lixões; 601 ou 10,8% para aterros controlados e 1.846 ou 33,1% municípios sem informação.

Passados nove anos de sua publicação preliminar, percebe-se ainda muitos desafios a serem enfrentados pelos estados brasileiros no que se refere a gestão dos resíduos sólidos urbanos, por se tratar de uma política pública relativamente nova, além de depender de muitos cenários socioeconômicos e sociais que o país enfrenta, a exemplo dos catadores e associações de reciclagem, que possuem pouca infraestrutura e dependem muitas vezes da gestão pública para avançar na execução deste importante trabalho.

Uma revisão sobre a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Em 2015, 193 países membros das Nações Unidas adotaram uma nova política global: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, cujo objetivo é elevar o desenvolvimento do mundo e melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas.

Para tanto, foram estabelecidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com 169 metas, a serem alcançadas por meio de uma ação conjunta que agrega diferentes níveis de governo, organizações, empresas e a sociedade como um todo nos âmbitos internacional, nacional e local.

Esta agenda traz uma nova visão para os consumidores, que estão cada vez mais dispostos a pagar por escolhas mais conscientes, por organizações que de fato incorporam a responsabilidade coletiva em sua política. O Brasil é consignatário da Agenda 2030 por meio do Pacto Global no Brasil.

Conforme a ONU (2019), a agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade, além de buscar fortalecer a paz universal. Todos os países e partes interessadas, devem atuar em parceria colaborativa, implementando a agenda 2030, que se trata de uma jornada coletiva, que visa um olhar sobre as pessoas no mundo.

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, conforme Figura 1, demonstram a escala e a ambição de uma agenda universal. A agenda foi construída sob o legado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e concluirão o que estes não conseguiram alcançar. Eles são integrados e indivisíveis, e equilibram as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental.



Figura 1 - 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS.

Fonte: ONU, 2019

Além dos 17 objetivos, foram estabelecidas 169 metas, pensadas para estimular ações em áreas de importância crucial para a humanidade que envolvem as pessoas e o planeta visando parcerias em busca de prosperidade paz a toda a nação. Tais premissas foram assumidas na agenda 2030 por meio dos eixos nomeados como “Cinco P: Pessoas, Planeta, Prosperidade, Paz e Parcerias”.

Tais instituições financeiras internacionais assumem um papel importante em conformidade com os respectivos mandatos, em particular nos países em desenvolvimento. Comprometendo-se a ampliar e fortalecer a voz e a participação dos países em desenvolvimento – incluindo os países africanos, os países menos desenvolvidos, os países em desenvolvimento sem litoral, os pequenos Estados insulares em desenvolvimento e os países de renda média – na tomada de decisão econômica, definição de normas internacionais e governança econômica global.

Não menos importante, é o papel do Sistema das Nações Unidas no apoio à realização dos ODS e do desenvolvimento sustentável. Embora destacando a importância da apropriação nacional e da

liderança em nível nacional, o apoio ao Diálogo do ECOSOC [Conselho Econômico e Social] em curso sobre o posicionamento do sistema de desenvolvimento das Nações Unidas no contexto dessa Agenda a longo prazo é fundamental para a sua efetivação.

Matriz – Eixo Resíduos Sólidos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos x os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

As Diretrizes e Estratégias estabelecidas nesta Versão Preliminar relativas aos resíduos sólidos urbanos do PNRSU tiveram como principal objetivo: (i) o atendimento aos prazos legais, (ii) o fortalecimento de políticas públicas conforme previsto na Lei 12.305/2010, tais como a implementação da coleta seletiva e logística reversa, o incremento dos percentuais de destinação, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a inserção social dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, (iii) a melhoria da gestão e do gerenciamento dos resíduos sólidos como um todo, (iv) o fortalecimento do setor de resíduos sólidos per si e as interfaces com os demais setores da economia brasileira.

A análise entre as Diretrizes e Estratégias relativas aos Resíduos Sólidos Urbanos do PNRSU, possibilitaram visualizar o alinhamento entre cada eixo e sua interpelação com cada um dos objetivos e metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Segue conforme a Figura 2, a construção da Matriz Eixo/Resíduos Sólidos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos x os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), e as suas interrelações.

Em relação as 169 metas dos ODS x a correlação com as Diretrizes e Estratégias Resíduos Sólidos Urbanos do PNRSU, foi identificado 112 objetivos correlacionados aos 17 ODS, conforme ilustrado na Figura 2.

Eixos X resíduos sólidos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Temas: (i) Resíduos Sólidos Urbanos	Diretrizes	Estratégias	1	2	3	4	5	6	7	8
			Erradicação da pobreza	Fome zero e agricultura sustentável	Saúde e Bem-estar	Educação de qualidade	Igualdade de gênero	Água Potável e Saneamento	Energia limpa e acessível	Trabalho decente e crescimento econômico
1- Disposição Final Ambientalmente Adequada de Rejeitos	Eliminação de lições e aterros controlados até 2014 e Disposição Final Ambientalmente Adequada de Rejeitos, conforme estabelecido na lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e seu decreto regulamentador – Decreto nº. 7.464/2010. Recuperação de lições compreendendo as ações de queima pontual de gases, coleta de chorume, drenagem pluvial, compactação da massa e cobertura vegetal.	Contrapartidas financeiras estaduais e municipais; Linhas de financiamento diferenciadas; Elaboração e Implantação de projetos técnicos especializados;	12		3,3; 3,9	4,14,6		6,1,6,2,6,3,6,6		8,3,8,4; 8,7, 8b
2- Redução da Geração de Resíduos Sólidos Urbanos	Manter os atuais patamares de geração de resíduos sólidos urbanos, tomando-se por referência o ano de 2009 (equivalente a uma taxa média de 1,1 kg/habitante/dia) com posterior redução.	Yarejo e consumo sustentáveis; Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P); Educação para o consumo sustentável; Aumento da reciclagem de resíduos sólidos; Compras públicas sustentáveis; Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos as voltadas à "construção sustentável". Divulgação e capacitação; Plotagem e análise do ciclo de vida				4,7		6,6, 8b		8,3, 8,4; 8b
3- Redução dos Resíduos Sólidos Urbanos Secos dispostos em aterros sanitários	Redução de 70% dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterros sanitários, com base na caracterização nacional em 2012.	Implantação da coleta seletiva em todos os municípios brasileiros prioritando-se, PIDEZ ou Aglomerações Urbanas; Implantação de sistemas de logística reversa pós-consumo de Embalagens, de forma progressiva, a partir do ano de 2013 até o ano de 2020, a partir de Acordos Setoriais; Implantação de medidas que incentivem as práticas de reutilização e reciclagem dos Incentivos (fiscais, financeiros e creditícios) voltados ao incremento da reciclagem no país de diversos materiais que compõe o PSU; Equipamento das demandas por alterações tributárias (tributação, isenções etc) visando o estímulo a reutilização e reciclagem; Indução do emprego de produtos que tenham na sua composição materiais reciclados, nas compras públicas;			3,3; 3,9	4,7		6,3, 8b		8,3, 8,4; 8b

(Continuação)

4 - Inclusão de Catadores de Materiais Recicláveis e Recicláveis	Inclusão e fortalecimento da organização de 600.000 catadores de materiais recicláveis e recicláveis.	Promover o fortalecimento e eficiência das cooperativas e associações de catadores e promover a criação de novas e regularização das existentes; Promover a articulação em rede; Fortalecer iniciativas de integração e articulação de políticas e ações federais direcionadas para o catador, incluindo pagamentos por Serviços Ambientais Urbanos; Apoio a realização de projetos, instalação e operação de unidades de triagem; Ações de capacitação técnica e gerencial; Ações de educação ambiental especificamente aplicadas à temática da coleta seletiva e da atuação dos catadores à população atendida; Promover a integração dos catadores aos sistemas de logística reversa; Articulação junto aos órgãos estaduais de meio ambiente visando a uniformização dos licenciamentos; Apoio a municípios que implantarem programas de coleta seletiva com a participação de catadores/associações ou cooperativas.	9,3	10,1,10,2	11,6			13,3		15,3,15a	16,B
5 - Redução de Resíduos Sólidos Urbanos Úmidos dispostos em aterros sanitários	Induzir a compostagem da parcela orgânica dos RSU	Implementar melhorias na segregação dos RSU domiciliares e comerciais, principalmente no que se refere à parcela úmida; Implementar medidas especificamente voltadas para feiras, CEASAs e demais pontos de concentração de produtos cujos resíduos orgânicos sejam passíveis de aproveitamento; Implementar medidas para aproveitamento do potencial dos materiais provenientes de capinação e poda de árvores.	9,5		11,6		12,4,12,5,12,6,12,8,12a	13,3		15,3,15a	17,9
6 - Tratamento e Recuperação de Gases em aterros sanitários	Geração de energia por meio do aproveitamento dos gases provenientes da biodigestão de composto orgânico e dos gases gerados em aterros sanitários (biogás)	Disponibilizar recursos especificamente voltadas para projeto/implantação de novas unidades de biodigestão ou modernização/ampliação das existentes; Elaborar cartilhas e manuais orientativos bem como realizar atividades de capacitação dos gestores públicos sobre a importância de uma adequada segregação na fonte e as oportunidades de aproveitamento dos materiais dela decorrentes; Realizar atividades de difusão tecnológica e de conhecimento no tema (biodigestão e biogás); Desenvolvimento Tecnológico visando a otimização e o aumento da eficiência dos processos de compostagem e do aproveitamento energético dos resíduos orgânicos; Articulação junto aos órgãos estaduais de meio ambiente visando a uniformização dos licenciamentos; Fomento ao uso de compostos orgânicos como nutrientes para a agricultura, desenvolvendo logísticas que viabilizem tal utilização.			11,6		13,3				

Figura 2 - Matriz Eixo/Resíduos Sólidos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos x os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Eixos X resíduos sólidos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Temas: (I) Resíduos Sólidos Urbanos	Diretrizes	Estratégias	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)																
			9 Indústria, Inovação e Infraestrutura	10 Redução das desigualdades	11 Cidades e comunidades sustentáveis	12 Consumo responsável	13 Ação contra mudança global do clima	14 Vida na água	15 Vida terrestre	16 Paz, justiça e instituições eficazes	17 Parcerias e meios de implementação								
1 - Disposição Final Ambientalmente Adequada de Resíduos	Eliminação de lixões e aterros controlados até 2014 e Disposição Final Ambientalmente Adequada de Resíduos, conforme estabelecido na Lei 12.235/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e seu decreto regulamentador - Decreto no. 7.404/2010. Recuperação de lixões compreendendo as ações de queima pontual de gases, coleta de chorume, drenagem pluvial, compactação da massa e cobertura vegetal.	Contrapartidas financeiras estaduais e municipais; Linhas de financiamento diferenciadas; Elaboração e Implantação de projetos técnicos especializados;			11,6		12,4	13,3	14,11,4,2,14c	15,3,15a	16,2,16,B	17,9							
2 - Redução da Geração de Resíduos Sólidos Urbanos	Manter os atuais patamares de geração de resíduos sólidos urbanos, tomando-se por referência o ano de 2008 (equivalente a uma taxa média de 1 kg/habitante/dia) com posterior redução.	Varejo e consumo sustentável; Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P); Educação para o consumo sustentável; Aumento da reciclagem de resíduos sólidos; Compras públicas sustentáveis; Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos as voltadas à "construção sustentável"; Doução e capacitação; Formação e análise do ciclo de vida	9,5		11,6		12,1,12,2,12,4,12,5,12,6,12,7,12,8,12a,b,c	13,3	14,11,4,2,14c	15,3,15a		17,9							
3 - Redução dos Resíduos Sólidos Urbanos Secos dispostos em aterros sanitários	Redução de 70% dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterros sanitários, com base na caracterização nacional em 2012.	Implantação da coleta seletiva em todos os municípios brasileiros prioritários, RIDEs ou Aglomerações Urbanas; Implantação de sistemas de logística reversa pós-consumo de Embalagens, de forma progressiva, a partir do ano de 2013 até o ano de 2020, a partir de Acordos Setoriais; Implantação de medidas que incentivem as práticas de reutilização e reciclagem dos Incentivos (fiscais, financeiros e creditícios) voltados ao incremento da reciclagem no país de diversos materiais que compõem os RSU; Equacionamento das demandas por atividades tributárias (licenciamento, isenções etc) visando o estímulo a reutilização e reciclagem; Indução do emprego de produtos que tenham na sua composição materiais reciclados, nas compras públicas;	9,5		11,6		12,4,12,5,12,6,12,8,12a	13,3		15,3,15a		17,9							
4 - Inclusão de Catadores de Materiais Recicláveis e Recicláveis	Inclusão e fortalecimento da organização de 600.000 catadores de materiais recicláveis e recicláveis.	Promover a articulação em rede; Fortalecer iniciativas de integração e articulação de políticas e ações federais direcionadas para o catador, incluindo pagamentos por Serviços Ambientais Urbanos; Apoio a realização de projetos, instalação e operação de unidades de triagem; Ações de capacitação técnica e gerencial; Ações de educação ambiental especificamente aplicadas à temática da coleta seletiva e da atuação dos catadores à população atendida; Promover a integração dos catadores aos sistemas de logística reversa; Articulação junto aos órgãos estaduais de meio ambiente visando a uniformização dos licenciamentos; Apoio a municípios que implantarem programas de coleta seletiva com a participação de catadores/associações ou cooperativas.		1a,1b			4,7	5b,5c	6,3,6b		8,5,8b								
5 - Redução de Resíduos Sólidos Urbanos Úmidos dispostos em aterros sanitários	Induzir a compostagem da parcela orgânica dos RSU	Implementar melhorias na segregação dos RSU domiciliares e comerciais, principalmente no que se refere à parcela úmida; Implementar medidas especificamente voltadas para feiras, CEASAs e demais pontos de concentração de produtos cujos resíduos orgânicos sejam passíveis de aproveitamento; Implementar medidas para aproveitamento do potencial dos materiais provenientes de capinação e poda de árvores.			2a	3,3,3,9	4,7		6,3,6b	7a	8,3,8,4,8b								
6 - Tratamento e Recuperação de Gases em aterros sanitários	Geração de energia por meio do aproveitamento dos gases provenientes da biodigestão de composto orgânico e dos gases gerados em aterros sanitários (biogás)	Disponibilizar recursos especificamente voltadas para projeto/implantação de novas unidades de biodigestão ou modernização/ampliação das existentes; Elaborar cartilhas e manuais orientativos bem como realizar atividades de capacitação dos gestores públicos sobre a importância de uma adequada segregação na fonte e as oportunidades de aproveitamento dos materiais dela decorrentes; Realizar atividades de difusão tecnológica e de conhecimento no tema (biodigestão e biogás); Desenvolvimento Tecnológico visando a otimização e o aumento da eficiência dos processos de compostagem e do aproveitamento energético dos resíduos orgânicos; Articulação junto aos órgãos estaduais de meio ambiente visando a uniformização dos licenciamentos; Fomento ao uso de compostos orgânicos como nutrientes para a agricultura, desenvolvendo logísticas que viabilizem tal utilização.					4b			7,2,7a	8b								

Figura 3 - Matriz Eixo/Resíduos Sólidos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos x os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Análise ODS x Eixos/Resíduos Sólidos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos

Das 169 metas dos ODS, 50 tiveram algum alinhamento direto com eixo Resíduos Sólidos Urbanos do PNRSU, conforme Figura 2, o que significa afirmar que, 29,5% das metas dos ODS possuem alinhamento com Diretrizes e Estratégias do PNRSU.

Para a correlação com os eixos Resíduos Sólidos Urbanos do PNRSU, foi utilizado as siglas dos principais eixos: 1 - Disposição Final Ambientalmente Adequada de Rejeitos (DFAAR); 2 - Redução da Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RGRSU); 3 - Redução dos Resíduos Sólidos Urbanos Secos dispostos em aterros sanitários (RRSUSDAS); 4 - Inclusão de Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis (ICMRR); 5 - Redução de Resíduos Sólidos Urbanos Úmidos dispostos em aterros sanitários (DRSUUDAS); 6 - Tratamento e Recuperação de Gases em aterros sanitários (DFAAR), conforme listado na Figura 4.

ODS	METAS ODS	CORRELAÇÃO EIXOS PNRSU
Objetivo 1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares	1.2 Até 2030, reduzir pelo menos à metade a proporção de homens, mulheres e crianças, de todas as idades, que vivem na pobreza, em todas as suas dimensões, de acordo com as definições nacionais	DFAAR
	1.a Garantir uma mobilização significativa de recursos a partir de uma variedade de fontes, inclusive por meio do reforço da cooperação para o desenvolvimento, para proporcionar meios adequados e previsíveis para que os países em desenvolvimento, em particular os países menos desenvolvidos, implementem programas e políticas para acabar com a pobreza em todas as suas dimensões	ICMRR
	1.b Criar marcos políticos sólidos em níveis nacional, regional e internacional, com base em estratégias de desenvolvimento a favor dos pobres e sensíveis a gênero, para apoiar investimentos acelerados nas ações de erradicação da pobreza	ICMRR
Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável	2.a Aumentar o investimento, inclusive via o reforço da cooperação internacional, em infraestrutura rural, pesquisa e extensão de serviços agrícolas, desenvolvimento de tecnologia, e os bancos de genes de plantas e animais, para aumentar a capacidade de produção agrícola nos países em desenvolvimento, em particular nos países menos desenvolvidos	DRSUUDAS
Objetivo 3. Assegurar uma vida saudável e	3.3 Até 2030, acabar com as epidemias de AIDS, tuberculose, malária e doenças tropicais negligenciadas,	DFAAR; RRSUUDAS; RRSUSDAS

promover o bem-estar para todos, em todas as idades	e combater a hepatite, doenças transmitidas pela água, e outras doenças transmissíveis	
	3.9 Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo	DFAAR; RRSUUDAS; RRSUSDAS
Objetivo 4. Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos	4.1 Até 2030, garantir que todas as meninas e meninos completem o ensino primário e secundário livre, equitativo e de qualidade, que conduza a resultados de aprendizagem relevantes e eficazes	DFAAR
	4.6 Até 2030, garantir que todos os jovens e uma substancial proporção dos adultos, homens e mulheres estejam alfabetizados e tenham adquirido o conhecimento básico de matemática	DFAAR
	4.7 Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de gênero, promoção de uma cultura de paz e não violência, cidadania global e valorização da diversidade cultural e da contribuição da cultura para o desenvolvimento sustentável	RGRSU; RRSUSDAS; ICMRR; RRSUUDAS
	4.b Até 2020, substancialmente ampliar globalmente o número de bolsas de estudo para os países em desenvolvimento, em particular os países menos desenvolvidos, pequenos Estados insulares em desenvolvimento e os países africanos, para o ensino superior, incluindo programas de formação profissional, de tecnologia da informação e da comunicação, técnicos, de engenharia e programas científicos em países desenvolvidos e outros países em desenvolvimento	TRGAS
Objetivo 5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas	5.b Aumentar o uso de tecnologias de base, em particular as tecnologias de informação e comunicação, para promover o empoderamento das mulheres	ICMRR
	5.c Adotar e fortalecer políticas sólidas e legislação aplicável para a promoção da igualdade de gênero e o empoderamento de todas as mulheres e meninas em todos os níveis	ICMRR
Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos	6.1 Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos	DFAAR
	6.2 Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade	DFAAR
	6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; ICMRR; RRSUSDAS

	<p>umentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente</p> <p>6.6 Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos</p> <p>6.a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso</p> <p>6.b Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento</p>	<p>DFAAR; RGRSU</p> <p>DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; ICMRR; RRSUSDAS</p> <p>DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; ICMRR; RRSUSDAS</p>
<p>Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos</p>	<p>7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global</p>	TRGAS
	<p>7.a Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa</p>	TRGAS
<p>Objetivo 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos</p>	<p>8.3 Promover políticas orientadas para o desenvolvimento que apoiem as atividades produtivas, geração de emprego decente, empreendedorismo, criatividade e inovação, e incentivar a formalização e o crescimento das micro, pequenas e médias empresas, inclusive por meio do acesso a serviços financeiros</p>	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; ICMRR; RRSUSDAS; TRGAS
	<p>8.4 Melhorar progressivamente, até 2030, a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção, e empenhar-se para dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, de acordo com o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com os países desenvolvidos assumindo a liderança</p>	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS
	<p>8.5 Até 2030, alcançar o emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas as mulheres e homens, inclusive para os jovens e as pessoas com deficiência, e remuneração igual para trabalho de igual valor</p>	ICMRR
	<p>8.7 Tomar medidas imediatas e eficazes para erradicar o trabalho forçado, acabar com a escravidão moderna e o tráfico de pessoas, e assegurar a proibição e eliminação das piores formas de trabalho infantil, incluindo recrutamento e utilização de crianças-soldado, e até 2025 acabar com o trabalho infantil em todas as suas formas</p>	DFAAR
	<p>8.b Até 2020, desenvolver e operacionalizar uma estratégia global para o emprego dos jovens e implementar o Pacto Mundial para o Emprego da Organização Internacional do Trabalho [OIT]</p>	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS

Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação	9.3 Aumentar o acesso das pequenas indústrias e outras empresas, particularmente em países em desenvolvimento, aos serviços financeiros, incluindo crédito acessível e sua integração em cadeias de valor e mercados	ICMRR
	9.5 Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento	RGRSU; RRSUSDAS; RRSUUDAS
Objetivo 10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles	10.1 Até 2030, progressivamente alcançar e sustentar o crescimento da renda dos 40% da população mais pobre a uma taxa maior que a média nacional	ICMRR
	10.2 Até 2030, empoderar e promover a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, gênero, deficiência, raça, etnia, origem, religião, condição econômica ou outra	ICMRR
Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis	11.6 Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS
Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis	12.1 Implementar o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com todos os países tomando medidas, e os países desenvolvidos assumindo a liderança, tendo em conta o desenvolvimento e as capacidades dos países em desenvolvimento	RGRSU
	12.2 Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais	RGRSU
	12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS
	12.5 Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso	RGRSU; RRSUUDAS; ICMRR RRSUSDAS
	12.6 Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios	RGRSU

	12.7 Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais	RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS
	12.8 Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza	RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS
	12.a Apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo	RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS
	12.b Desenvolver e implementar ferramentas para monitorar os impactos do desenvolvimento sustentável para o turismo sustentável, que gera empregos, promove a cultura e os produtos locais	RGRSU
	12.c Racionalizar subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, que encorajam o consumo exagerado, eliminando as distorções de mercado, de acordo com as circunstâncias nacionais, inclusive por meio da reestruturação fiscal e a eliminação gradual desses subsídios prejudiciais, caso existam, para refletir os seus impactos ambientais, tendo plenamente em conta as necessidades específicas e condições dos países em desenvolvimento e minimizando os possíveis impactos adversos sobre o seu desenvolvimento de uma forma que proteja os pobres e as comunidades afetadas	RGRSU
Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos	13.3 Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS; TRGAS
Objetivo 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável	14.1 Até 2025, prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, especialmente a advinda de atividades terrestres, incluindo detritos marinhos e a poluição por nutrientes	DFAAR; RGRSU
	14.2 Até 2020, gerir de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos, inclusive por meio do reforço da sua capacidade de resiliência, e tomar medidas para a sua restauração, a fim de assegurar oceanos saudáveis e produtivos	DFAAR; RGRSU
	14.c Assegurar a conservação e o uso sustentável dos oceanos e seus recursos pela implementação do direito internacional, como refletido na UNCLOS [Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar], que provê o arcabouço legal para a conservação e utilização sustentável dos oceanos e dos seus recursos, conforme registrado no parágrafo 158 do “Futuro Que Queremos”	DFAAR; RGRSU
Objetivo 15. Proteger,	15.1 Até 2020, assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água	DFAAR; RGRSU

recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade	doce interiores e seus serviços, em especial florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais	
	15.3 Até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS
	15.a Mobilizar e aumentar significativamente, a partir de todas as fontes, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS
Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis	16.2 Acabar com abuso, exploração, tráfico e todas as formas de violência e tortura contra crianças	DFAAR
	16.b Promover e fazer cumprir leis e políticas não discriminatórias para o desenvolvimento sustentável	DFAAR; ICMRR
Objetivo 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável	17.9 Reforçar o apoio internacional para a implementação eficaz e orientada da capacitação em países em desenvolvimento, a fim de apoiar os planos nacionais para implementar todos os objetivos de desenvolvimento sustentável, inclusive por meio da cooperação Norte-Sul, Sul-Sul e triangular	DFAAR; RGRSU; RRSUUDAS; RRSUSDAS

Figura 4. ODS x Correlação dos eixos do PNRSU. Fonte: Elaborada pelos autores.

Quanto aos resíduos sólidos, destaca-se o ODS 12 - Produção e o Consumo Sustentáveis, com o maior número de interações (Figura 3), com os eixos do PNRSU, com foco em ações globais e locais, como alcançar o uso eficiente de recursos naturais. Neste objetivo, também estão incluídos o cuidado com resíduos sólidos e a diminuição da emissão de poluentes. Este ODS pode ser alcançado através da redução da geração de resíduos, da prevenção, redução, reciclagem e reuso, tanto no consumo

como na produção. Além disso, faz parte o repensar o ciclo de vida dos produtos e redesenhar a cadeia de produção, separar e destinar os resíduos de forma adequada, cuidar do desperdício e da perda de alimentos, incluindo a perda pós-colheita, adotar tecnologias que recuperem os resíduos, aproveitar o máximo da matéria-prima, pensar no pós-consumo e embalagens, e ligando ao princípio da responsabilidade estendida do produtor.

Uma das metas do ODS 12 é até 2020, alcançar o manejo ambientalmente adequado dos produtos químicos e de todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, conforme os marcos internacionalmente acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, a fim de minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente.

Outra meta é até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

É cada vez mais evidente que a adoção de padrões de produção e consumo sustentáveis e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos podem reduzir significativamente os impactos ao ambiente e à saúde.

A gestão de resíduos no contexto do ODS 12 sobre Consumo e Produção Responsáveis, significa garantir uma vida saudável e um planeta saudável no futuro. A boa gestão destes é relevante e apóia a implementação de muitos outros, senão todos os ODS.

Outros ODS que merecem destaques pela referida análise foram: 8 Trabalho decente e crescimento econômico; 6 Água Potável e Saneamento; 15 Vida terrestre; 4 Educação de qualidade; 3 Saúde e Bem-estar, todos a partir de seis ou mais metas interrelacionadas com os eixos do PNRSU, conforme indicado na Figura 2 e 3.

Comentários finais

No seu âmbito de aplicação, a nova Agenda 2030 define um vasto leque de objetivos econômicos, sociais e ambientais. Ela também promete sociedades mais pacíficas e inclusivas. E define também, fundamentalmente, meios de implementação, refletindo a abordagem integrada e de interconexões com diversas políticas públicas e ferramentas de gestão, a exemplo da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Plano Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos respectivamente.

Vale ressaltar que os governos têm a responsabilidade direta de implementar, acompanhar e avaliar essas políticas em diversos níveis, sendo: nacional, regional e local. Em relação ao progresso da implementação dos Objetivos e metas para os próximos 10 anos (até 2030), será papel do Fórum

Político de Alto Nível, sob os auspícios da Assembleia Geral e do Conselho Econômico e Social [ECOSOC], da supervisão do acompanhamento e da avaliação em nível global.

Indicadores estão sendo desenvolvidos para ajudar neste trabalho, porém, dados e informações desagregadas serão necessários para ajudar na medição do progresso da referida agenda 2030. Esses dados são a chave para a tomada de decisões, que aliados aos mecanismos de comunicação serão importantes para o seu avanço.

No que se refere à gestão dos resíduos sólidos urbanos, há muito o que se avançar, mas para isso, espera-se um compromisso em desmonopolizar a forma atual de como o GRSU é realizado no país, abrindo a possibilidade de mais empresas e iniciativas de realizarem uma destinação mais adequada aos resíduos, que não seja somente a disposição final em aterros.

É claro que, em um país que ainda encaminha mais de 30% dos RSU de forma ambientalmente inadequada, para lixões, aterros controlados e no ambiente, o desafio é ainda maior. Porém, o cenário também aponta para novas oportunidades de negócios e valorização de resíduos sólidos urbanos, o que dialoga com novas pesquisas, oportunidades de geração de trabalho e renda e crescimento econômico alinhado com as Pessoas, o Planeta, gerando Prosperidade, Paz e Parcerias.

Esse estudo pretende ser continuado a partir de análise comparativa das metas e diretrizes propostas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), que encontra-se em aprovação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Programa Doutorado Acadêmico para Inovação – DAI, em proporcionar bolsas de estudo de Doutorado e DT2, para realização desses estudos.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2018/2019. São Paulo: ABRELPE, 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 05 jul. 2021.

POLLEN. Entenda tudo sobre os ODS e como sua empresa pode se alinhar através das plataformas online de resíduos. Disponível em: <https://blog.brpolen.com.br/entenda-o-que-sao-os-ods-da-onu-e-sua-relacao-com-residuos-solidos/>

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES PARA SANEAMENTO (SNIS). Perfil 2019. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf>. Acesso em: 6julho.2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). Perfil 2018. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/preview-perfil/>. Acesso em: 17jun.2019.

BRASIL. Estudo sobre aspectos econômicos da reciclagem 2010. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1170. Acesso em: 28 jul. 2015.

CE100 BRASIL. Uma Economia Circular no Brasil: uma abogagem exploratória. 2017. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf >. Acesso em: 29 maio. 2019.

CICLOSOFT. Radiografando a Coleta Seletiva 2018. Disponível em: < <http://cempre.org.br/ciclossoft/id/8>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

RAMPAZZO, Lino. Metodologia científica: para alunos do curso de graduação e pós-graduação. São Paulo: Loyola, 2002.

PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS Versão Preliminar para Consulta Pública Brasília, setembro de 2011. Disponível em: < https://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: 29 maio. 2019.

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, dezembro 2019. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 12 dezembro. 2019.

6^o SSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

- PARTE V -

Reaproveitamento de Resíduos Sólidos

EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS AROMÁTICOS DA CASCA DE BANANA PRATA (*MUSA SAPIENTUM*): ABORDAGEM QUALITATIVA E SENSORIAL

| ID 18670 |

1 Nicole Ferreira Silveira, 2 Allan Valcareggi Morcelli

1 Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, e-mail: nicole.silveira@edu.pucrs.br;

2 Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, e-mail: allan.morcelli@pucrs.br

Palavras-chave: Aromas; Banana; Extração.

Resumo

A banana prata (*Musa sapientum*) é um dos frutos mais consumidos pela população brasileira e o Brasil é o quarto maior produtor no mundo. A utilização da casca de banana como matéria prima na indústria pode auxiliar na produção de aromas naturais contendo substâncias que lembrem a própria fruta, sendo um interessante destino a ser dado a este resíduo orgânico gerado em abundância. Para viabilizar este uso, foi testada, neste trabalho, a extração das substâncias aromáticas da casca da banana prata por isopropanol. As análises foram feitas por cromatografia gasosa com espectrometria de massas. Foram analisados tanto o extrato da casca obtido experimentalmente como um aroma comercial de banana disponível no mercado. Os resultados demonstraram a extração de diversas substâncias, como o Acetato de Isoamila, que apresentam o aroma de banana em suas características sensoriais e, inclusive, compostos já utilizados na indústria de aromas, o que evidencia o potencial do uso do resíduo estudado.

Introdução

Este arquivo apresenta as instruções de formatação para a submissão de trabalhos para o 6^o Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis (6SSS) que será realizada em Porto Alegre/RS, nos dias 30 e 31 de agosto de 2021. Os resíduos orgânicos, no Brasil, representam hoje mais de 50% do lixo gerado, totalizando um desperdício diário de cerca de 41 mil toneladas de comida (ECO CIRCUITO, 2020). A disposição inadequada destes resíduos gera chorume, emissão de metano na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças, sendo de grande importância que métodos para reutilização deste grande volume de sólidos sejam adotados (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017). Em nossa sociedade, existe um modelo linear de produção, consumo e descarte que tem de ser revisado. É

preciso, sobretudo, evoluir para um modelo circular de reaproveitamento (ECO CIRCUITO, 2020). Para a resolução desse problema, viabilizando o aproveitamento de resíduos, cascas de frutas vêm sendo utilizadas como matéria prima para a produção de alguns alimentos viáveis para inclusão na dieta humana (OLIVEIRA et al., 2002).

O brasileiro consome, em média, vinte e cinco quilos de banana ao ano e, o Brasil, é o quarto maior produtor de banana do mundo. Cerca de 70% desta produção é de banana prata (AMPUDIA, 2019). A banana prata (*Musa sapientum*) originária do Sudeste da Ásia, produto do cruzamento entre *Musa acuminata* e *Musa balbasiana*, é pertence ao gênero *Musa*, e a família *Musaceae* (SOUZA et al., 2012). Nesse sentido, é possível afirmar que a banana prata é um dos frutos mais consumidos pela população brasileira, tanto por suas qualidades nutricionais como facilidade de produção (SOUZA et al., 2012).

A indústria de alimentos com enfoque na produção de aromas precisa, a todo momento, estar a par de todas essas informações para que seus produtos sejam feitos com responsabilidade tanto social como ambiental. Pesquisas de mercado têm demonstrado que os consumidores esperam encontrar produtos que constituam uma alimentação saudável, fazendo parte de uma nova era de consumo, na qual o termo “artificial” em alimentos ou aditivos sintéticos pode gerar uma percepção negativa, e a preferência do consumidor acaba se direcionando para produtos que contenham no rótulo a informação de aroma natural (DUAS RODAS, 2017).

Neste sentido, este trabalho tem o objetivo de viabilizar a utilização da casca da banana prata, um resíduo produzido em grande quantidade, como matéria prima na indústria de alimentos. Buscou-se avaliar o seu potencial de aplicação para a produção de aromas naturais através da recuperação de substâncias que apresentem um perfil sensorial rico em compostos aromáticos, assim, criando uma opção quanto ao uso de aromas sintéticos da própria fruta da banana, além de representar um possível destino à grande parte do resíduo orgânico gerado.

Material e Métodos

Preparo de Amostra

Toda a casca de banana prata utilizada foi cortada em pedaços e mantida a uma temperatura de aproximadamente -3°C em um freezer doméstico até o momento de uso. Para retirar toda a umidade contida na casca e facilitar o processo de extração, a amostra passou por um processo de liofilização em um LioFilizador LD1500 da Terroni Equipamentos Científicos e a secagem teve duração de 24 horas. A temperatura da bandeja do equipamento foi mantida a 25°C e a temperatura do condensador a $-0,53^{\circ}\text{C}$. Após isto, a casca de banana seca foi encaminhada a um moinho de facas

para que houvesse a redução do seu tamanho de partícula. O moinho utilizado foi o IKA A11 Basic Analytical Mill e o processo durou, para cada 30 gramas de amostra, 2 minutos de moagem. Para a conservação da amostra, todo o pó obtido foi estocado em um Ultrafreezer CL800-86V da ColdLab e mantido a uma temperatura de -80 °C. A Figura 1a mostra o pó obtido no processo. Além disto, para fins de comparação de resultados, uma amostra de aroma comercial de banana fornecida por uma das “*flavour houses*” citadas neste trabalho também foi avaliada por cromatografia. O objetivo desta análise foi o de encontrar uma correlação entre os componentes utilizados comercialmente para dar o aroma de banana e os componentes encontrados naturalmente na casca da banana neste trabalho.

Método de extração

Para a realização deste trabalho, foi utilizada a extração por solvente com isopropanol puro (LiChrosolv, Merck, EUA) em uma razão de solvente para casca seca de 4,5 mL/g (PHYNES, 1986). É importante ressaltar que o solvente não foi diluído em água, como na referência utilizada, pois considerou-se neste trabalho que a presença de água iria interferir negativamente na análise por cromatografia gasosa. As amostras foram separadas em três Erlenmeyers diferentes e, cada um deles, foi utilizado para manter o contato da casca com o solvente por diferentes períodos, sendo as amostras retiradas após 30 min, 60 min e 120 min de extração. Cada uma das extrações foi realizada em triplicata. Durante o processo, os frascos foram mantidos sob constante agitação de 250 rpm, em uma mesa de agitação orbital da Agimaxx, à temperatura de 21 °C. Todos os frascos foram selados com tampas para evitar a volatilização dos compostos aromáticos presentes na amostra. Após finalizados os diferentes períodos de extração, os extratos foram filtrados com filtros Millipore Millex-FG Phobic PTFE 0.2 µm, e então direcionados a frascos que foram utilizados na análise cromatográfica. A Figura 1b apresenta o extrato obtido, pré-filtração, em um dos tempos de extração como ilustração do resultado de processo e a Figura 1c o extrato após feito o processo de filtração.



Figura 1: (a) Pó seco da casca da banana prata; (b) amostras ao final do tempo de agitação, pré-filtração; (c) amostras pós-filtração dos resíduos sólidos.

Análise cromatográfica

As análises cromatográficas foram realizadas no cromatógrafo a gás Agilent 7890B acoplado a um espectrômetro de massas 5977A MSD. As amostras de diferentes tempos de extração foram injetadas, cada uma, em triplicata, em uma quantidade de 1 μL em uma coluna capilar não polar composta de 5% fenil e 95% metilpolisiloxano (30 m \times 0,25 mm i.d. \times 1 μm df) (DB-5ms, Agilent Technologies, EUA). As amostras foram injetadas no modo “splitless” a 250 °C usando uma corrente de gás de arraste de 1 mL min⁻¹ de gás hélio. As condições cromatográficas foram: temperatura inicial de 50 °C (0,5 min) elevada a 100°C (17,17 min) através de uma taxa de aquecimento de 3 °C min⁻¹; em sequência, a temperatura é elevada a 250°C (42,17 min) através de uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹; a última elevação de temperatura se dá até 280 °C através de uma taxa de aquecimento de 5 °C min⁻¹ e esta representa a isoterma final da análise, a qual permanece nesta temperatura por 5 min. A linha de transferência foi configurada a 290 °C. A faixa do espectro de massa foi de 33 a 500 m/z e a energia de ionização 70 eV. A fonte de íons e quadrupolo foram mantidas a 300 °C e 150 °C, respectivamente.

Banco de dados para abordagem qualitativa

Para a abordagem qualitativa dos resultados, obteve-se o reconhecimento das substâncias encontradas nos cromatogramas, através de um cruzamento entre os picos encontrados no espectro de massa e o espectro do banco de dados do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos (NIST), utilizando as informações providenciadas pelo “NIST Espectro de Massas Programa de Pesquisa”, na livraria Versão 2.4 de Março de 2020. A partir desta comparação, pode-se encontrar um “Fator de Combinação”, o qual demonstra quanto o pico da amostra analisada se parece com o do padrão encontrado no banco de dados, assim como também foram avaliados os Índices de Retenção de Kovats de cada substância.

Banco de dados para abordagem sensorial

Para a análise de resultados dos compostos aromáticos obtidos experimentalmente, utilizando uma abordagem sensorial, foi utilizado o banco de dados “Flavor Base”, disponibilizado por Leffingwell & Associates, versão 2010. Esta é a maior revisão incluindo grande parte das informações mundiais disponíveis sobre aromas e aditivos alimentícios, contendo informações relevantes para abordagens sensorial e dados regulatórios importantes à indústria de aromas, alimentos, bebidas e fumo (LEFFINGWELL & ASSOCIATES, 2016). Além deste, também foi utilizado o banco de dados “The Good Scents Company”, o qual é disponibilizado online e foi criado com o intuito de auxiliar perfumistas na criação de novas fragrâncias e tendências (THE GOOD SCENTS COMPANY, 2018). O

perfil sensorial de cada substância extraída foi encontrado nos bancos de dados referidos, e então foi feita uma seleção envolvendo todos os compostos que teriam a característica “banana” em seu descritor, ou seja, todos os compostos que trazem, diretamente, o cheiro de banana e são interessantes para a indústria de aromas.

Resultados e Discussões

Com o objetivo de avaliar o potencial da aplicação da tecnologia de extração com isopropanol na recuperação de compostos aromáticos da banana, foi realizada primeiramente a caracterização de um aroma comercial desta fruta atualmente encontrado em circulação no mercado internacional. Este procedimento foi realizado a fim de conhecer sua composição, indicando os principais compostos utilizados na formulação de um aroma sintético por contribuírem com características sensoriais associadas à banana. O cruzamento destes dados com aqueles encontrados em bancos de dados de perfis sensoriais permitiu dar enfoque somente aos compostos de interesse ao propósito deste trabalho entre um número muito alto de substâncias recuperadas nos extratos produzidos.

Caracterização do aroma comercial de banana

O aroma comercial de banana utilizado como referência neste trabalho foi avaliado em uma concentração de 100 ppm, e a listagem de componentes encontrados por cromatografia gasosa encontra-se descrita no Quadro 1. São apresentados o número da Sociedade Americana de Química (CAS) de cada substância, a sua fórmula molecular e o percentual da área total do cromatograma referente a cada componente encontrado na amostra. O cromatograma referente à análise do aroma comercial de banana pode ser consultado na Figura 2 a seguir deste trabalho.

Todos esses componentes coexistindo em proporção definida pela formulação do fabricante trazem o aroma final de banana utilizado no mercado. Porém, existem algumas substâncias específicas entre as detectadas que, por si, já apresentam o aroma de banana em suas análises sensoriais individuais, segundo Leffingwell & Associates, 2010. Estas substâncias encontram-se listadas no Quadro 2.

Quadro 1: Componentes encontrados no aroma comercial de banana.

Composto	CAS#	Formula Molecular	Área (%)
Ácido 4-aminoxano-4-carboxílico	39124-20-4	C6H11NO3	16,18
Acetato de Isoamila	123-92-2	C7H14O2	15,23
Propilenoglicol	57-55-6	C3H8O2	14,89
Propeno	115-07-1	C3H6	10,94
Formato de Amila	638-49-3	C6H12O2	10,20
Acetil Eugenol	1000284-91-1	C12H14O3	9,10
Acetato de Isobutila	110-19-0	C6H12O2	6,64
Hexanoato de Etila	123-66-0	C8H16O2	6,17
1,2-benzenediol, O- (2-furoil) -O '- (pentafluoropropionil) -	1000329-74-7	C14H7F5O5	5,62
Butirato de Etila	105-54-4	C6H12O2	2,46
Butirato de 1,5-dimetil-1-vinil-4-hexenil	78-36-4	C14H24O2	2,17
Acetato de Hexenila	3681-71-8	C8H14O2	0,41
Ácido succínico, 2-metilpent-3-il pentafluorofenil éster	1000390-34-8	C16H17F5O4	0,00

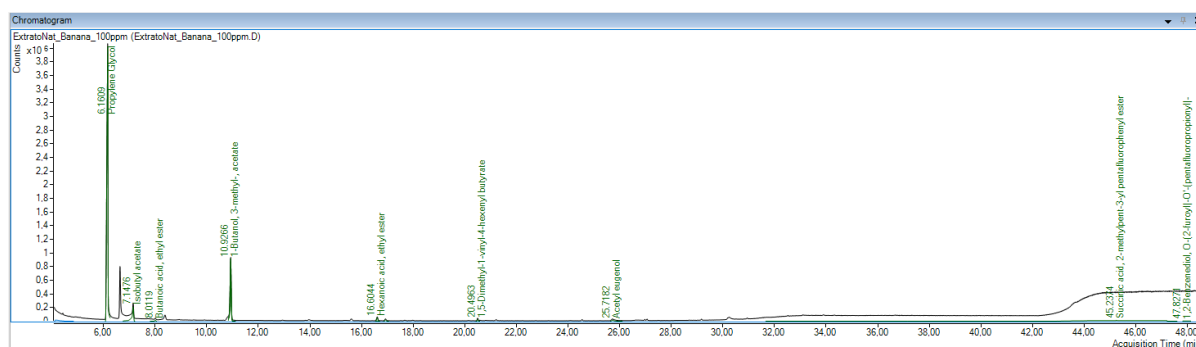


Figura 2: Cromatograma da amostra aroma comercial de banana.

Quadro 2: Compostos com aroma de banana no produto comercial.

Composto	CAS#	Descritor Sensorial
Acetato de Isoamila	123-92-2	Doce, frutal, banana e pera (odor e sabor)
Acetato de Isobutila	110-19-0	Frutal, notas de banana-maçã-abacaxi-pera
Hexanoato de Etila	123-66-0	Forte, frutal, abacaxi, banana com morango, pera e notas tropicais
Acetato de Hexenila	3681-71-8	Forte, odor frutal-gramíneo; notas de banana verde.

As substâncias restantes na formulação não listadas no Quadro 2, não possuem o perfil sensorial de banana diretamente, mas encontram-se na composição do aroma comercial desta fruta como adendos para o aroma total, trazendo outras características necessárias para o produto, como as notas adocicadas e mais arredondadas que encontramos quando sentimos o cheiro da fruta. Além disto, é possível encontrar a presença de propilenoglicol, o qual é frequentemente utilizado como solvente na indústria de aromas.

Caracterização do extrato da casca de banana prata

Três tempos de extração distintos (30 min, 60 min e 120 min) foram testados em triplicata para avaliação da composição dos extratos obtidos com isopropanol, uma vez que se sabe que a composição de compostos aromáticos no extrato pode variar significativamente ao longo do processo de extração com solventes orgânicos. Cada amostra foi analisada em triplicata por cromatografia gasosa. Para demonstração, a Figura 3 a seguir demonstra o cromatograma da amostra após 60 minutos de extração.

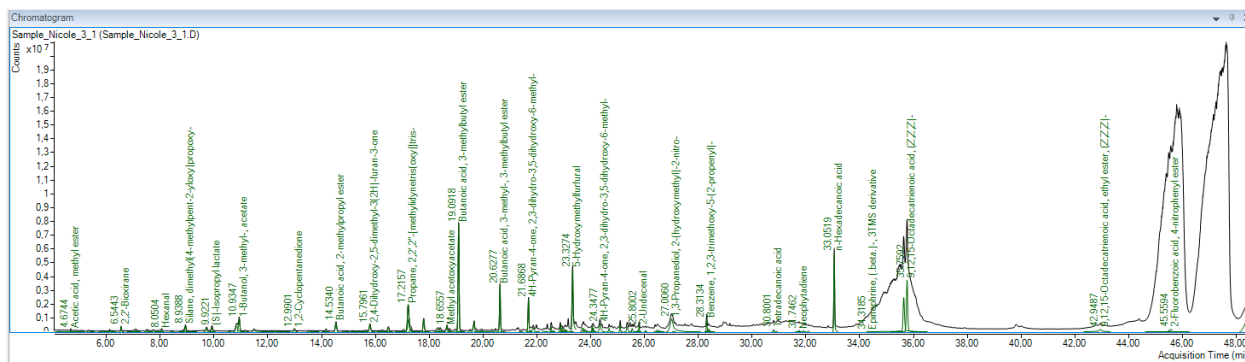


Figura 3: Cromatograma do extrato após 60 minutos de extração.

O extrato escolhido para avaliação neste trabalho foi o obtido no tempo de extração de 60 min. Isso se deve ao fato de que a distribuição de compostos e as composições encontradas nos cromatogramas variaram muito pouco com o tempo de extração. No entanto, entre as três opções testadas, os extratos produzidos após 60 min de contato com isopropanol apresentaram um número de compostos ligeiramente superior, contabilizando uma média de 165 substâncias identificadas.

Devido ao alto número de substâncias detectadas, fez-se o seguinte tratamento dos dados obtidos por cromatografia gasosa:

- Todas as substâncias que estiveram presentes nas três amostras da triplicata foram mantidas na listagem.

• Foram desconsiderados todos os compostos que estiveram presentes em apenas uma das triplicatas avaliadas, podendo estes terem sido indicados apenas por questões diretamente analíticas do equipamento ou como contaminantes na extração.

• Para substâncias que apareceram em apenas duas das triplicatas, foi avaliada diretamente a sua relevância quanto ao seu aroma, levando em consideração o fato de a substância ter um descritor sensorial que lembre o da banana e a sua possível presença na casca quanto ao valor de área relativa de pico encontrada, uma vez que valores extremamente discrepantes ou baixos também poderiam estar associados a erro de equipamento ou resíduo no processo de extração.

A partir desta seleção, foi possível obter uma relação reduzida, contendo mais de 100 substâncias encontradas no extrato da casca de banana prata, as quais são apresentadas no ANEXO III deste trabalho. O Quadro 3 apresenta, entre estas, aquelas que apresentaram maior porcentagem de área de pico na análise.

Quadro 3: Lista de substâncias do extrato da casca de banana prata.

Composto	CAS#	Área (%)	Desvio Padrão (%)
Ciclopent-4-eno-1,3-diona	1000411-44-6	1,66	0,08
Hexanoato de Isopentila	2198-61-0	1,63	0,00
Butirato de Isobutila	539-90-2	1,60	0,14
1,1-Etanodiol, diacetato	542-10-9	1,44	0,15
Ácido 5-oxotetrahydrofurano-2-carboxílico, éster etílico	1126-51-8	1,41	0,37
Gama-lactona de ácido hidroxibutenóico	497-23-4	1,40	0,09
Butil Isovalerato	109-19-3	1,32	0,11
Ácido Dodecanóico	143-07-7	1,31	0,42
Anidrido Maleico	108-31-6	1,27	0,18
2-Undecenal	2463-77-6	1,26	0,07
Decenal	3913-81-3	1,25	0,28
Metilfurfural	620-02-0	1,23	0,17
2,4-Dihidroxi-2,5-dimetil-3 (2H) -furan-3-ona	10230-62-3	1,21	0,21
2,2'-Bioxirano	1464-53-5	1,20	0,14

Furano, 2,3-dihidro-3-metil-	1708-27-6	1,15	0,06
Piridina, 2-cloro-6- (2-furanilmetoxi) -4- (triclorometil) -	70166-48-2	1,08	0,07
Furano, 2-butiltetrahidro-	1004-29-1	1,08	0,08
Anidrido valérico	2082-59-9	1,07	0,10
Ácido fórmico, éster tetrahidrofurfúrico	1000368-75-5	1,06	0,07
2-sec-butilciclohexanona	1000342-30-8	1,05	0,06
Butirato de Isoamila	106-27-4	1,03	0,08

Relação entre aroma comercial da fruta e extrato da casca

Procedeu-se então com o cruzamento da relação de substâncias relevantes encontradas no extrato obtido neste trabalho com informações contidas no banco de dados (Leffingwell & Associates, 2010). Foram identificadas através deste procedimento 10 substâncias que apresentam perfil sensorial compatível com o da banana. Esta listagem de substâncias, com os respectivos descritores sensoriais, encontra-se apresentada no Quadro 4 a seguir.

Também, a fim de avaliar as substâncias presentes simultaneamente tanto no aroma comercial da banana quanto no extrato da casca da banana obtido neste trabalho, foi feito um cruzamento de informações, avaliando diretamente as substâncias que possuem, de fato, característica sensorial de banana presente nos dois produtos. Fazendo todas as considerações previamente descritas sobre a exclusão de componentes não encontrados em todas as triplicatas, houve uma substância em comum encontrada: o acetato de isoamila.

O acetato de isoamila (CAS 123-92-2) possui perfil sensorial de odor e sabor com as características de doce, frutal, banana e pera. O acetato de isoamila é produzido durante o estágio de amadurecimento da fruta, quando as substâncias voláteis são produzidas, e ele é considerado como a principal responsável pelo aroma da banana (OLIVEIRA et al., 2014). Este composto pode ser sintetizado por reação de esterificação de Fischer, por catálise ácida, entre o álcool isoamílico e o ácido acético glacial (JOÃO RODRIGUES, 2015). Ele pode ser aplicado como componente de formulação para a indústria de couros, em fragrâncias e aromas, como solvente para plástico e como removedor de manchas no processo de lavagem a seco (RAUTER PRODUTOS QUÍMICOS, 2019). Além disso, devido ao seu odor agradável e intenso e à sua baixa toxicidade, o acetato de isoamila é utilizado para testar a eficiência das máscaras de gás (JOÃO RODRIGUES, 2015).

Compostos aromáticos do extrato também utilizados na indústria de aromas

Na lista de substâncias encontradas no extrato, além das apresentadas que possuem aroma sensorial perceptivo ligado diretamente a banana, também foram encontrados diversos compostos que possuem uso na indústria de aromas, mesmo não tendo a característica da banana em seu perfil. Estas substâncias, juntamente aos seus descritores sensoriais, podem ser encontradas no Quadro 5 a seguir. Todas estas, de alguma forma, também podem ser utilizadas na indústria de aromas e alimentos, possibilitando, assim, diversos outros destinos à casca de banana.

Quadro 4: Lista de Substâncias relevantes sensorialmente a característica de “banana” no extrato da banana prata.

Composto	CAS#	Fórmula Molecular	Descritor Sensorial
Acetato de Isoamila	123-92-2	$C_7H_{14}O_2$	Doce, frutal, banana (odor e sabor)
Acetato de Metilbutila	626-38-0	$C_7H_{14}O_2$	Frutal, maduro, banana, cremoso, sabor verde em 10 ppm
Etanoato de Butila	123-86-4	$C_6H_{12}O_2$	Forte, doce, frutal; Notas de banana, pera, abacaxi
Butirato de Pentila	60415-61-4	$C_9H_{18}O_2$	Doce, frutal, banana, verde, frutas roxas
Butirato de Isobutila	539-90-2	$C_8H_{16}O_2$	Doce frutal, pera, abacaxi, banana (odor e sabor)
Butil Isovalerato	109-19-3	$C_9H_{18}O_2$	Etéreo, frutal, maçã-banana odor, abacaxi frutal sabor
Butirato de Isoamila	106-27-4	$C_9H_{18}O_2$	Mix de frutas odor; doce; damasco-maçã-banana-pera
Butirato de Butila	109-21-7	$C_8H_{16}O_2$	Forte, doce, frutal, banana-pera-abacaxi-maçã
Isobutil Isovalerato	589-59-3	$C_9H_{18}O_2$	Frutal, maçã-frutas vermelhas odor; banana verde-maçã sabor
Hexanoato de Isopentila	2198-61-0	$C_{11}H_{22}O_2$	Frutal, maçã-banana-abacaxi, ceroso (Odor e sabor)

Quadro 5: Substâncias gerais relevantes à indústria de aromas presentes no extrato de banana-prata.

Composto	CAS#	Fórmula Molecular	Descritor Sensorial
Álcool Isoamílico	123-51-3	C ₅ H ₁₂ O	Odor alcólico, de tirar o fôlego; diluído possui sabor de aguardente vínica
Gama-lactona de ácido hidroxibutenóico	497-23-4	C ₄ H ₄ O ₂	Doce, queimado.
Decadienal	25152-84-5	C ₁₀ H ₁₆ O	Forte, profundamente gorduroso; Notas gordurosas e cítricas
Decenal	3913-81-3	C ₁₀ H ₁₈ O	Ceroso, gorduroso, terroso, coentro, cogumelo, verde, notas de carne de porco e frango
Metilfurfural	620-02-0	C ₆ H ₆ O ₂	Doce picante, pão, noz, caramelico (odor e sabor)
Undecenal	2463-77-6	C ₁₁ H ₂₀ O	Fresco, doce cítrico, casca de laranja e limão quando diluído
Hidroximetilfurfural	67-47-0	C ₆ H ₆ O ₃	Herbáceo semelhante ao feno, herbáceo doce, semelhante ao gosto de tabaco
Ácido Linolênico	463-40-1	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Gorduroso
Ácido Linoleico	60-33-3	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Gordura oleosa; sensação de cera na boca
Acetato de metila	79-20-9	C ₃ H ₆ O ₂	Doce, etéreo frutal volátil odor; similar ao Acetato de Etila
Elemicin	487-11-6	C ₁₂ H ₁₆ O ₃	Doce, de alguma forma odor amadeirado-floral picante
Butirato de heptilo	39026-94-3	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	Cera, frutal, verde, de alguma forma tropical com uma nota floral
Isovalerato de isoamila	659-70-1	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Odor frutal de maçã verde, abacaxi, tropical, manda, damasco, conhaque

Pentilfurano	3777-69-3	C ₉ H ₁₄ O	Terroso, verde, vegetal e frutal
Hexanal	66-25-1	C ₆ H ₁₂ O	Forte, gorduroso-verde, grama verde
Ácido Palmítico	57-10-3	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Quase sem odor, porém possui um gosto ceroso.
Ácido Pentadecanóico	1002-84-2	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	Fraco, ceroso, ligeiramente gorduroso (odor e sabor)
Ácido Pentanoico	109-52-4	C ₅ H ₁₀ O ₂	Poderoso, "doce" odor de queijo; frutal, queijo, gosto de laticínios quando diluído
Ácido Propanoico	79-09-4	C ₃ H ₆ O ₂	Pungente, odor de leite azedo, queijo
Ácido Isobutírico	79-31-2	C ₄ H ₈ O ₂	Odor de queijo azedo, em diluição relembra fruta (odor e sabor)
Piruvato de Metila	600-22-6	C ₄ H ₆ O ₃	Doce, frutal-caramélico-picante, ácido (odor); Rum-picante-caramélico (sabor)
Ácido Tetradecanoico	544-63-8	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Muito fraco, óleo ceroso, sensação de cera na boca
Formato de isoamila	110-45-2	C ₆ H ₁₂ O ₂	Doce, verde-frutal-vinho, relembra groselha preta, ameixa e maçã
Ácido oxoglutárico	328-50-7	C ₅ H ₆ O ₅	Azedo, utilizado na preparação de carne vermelha, frango e aromas de queijo
Pentanol	6032-29-7	C ₅ H ₁₂ O	Vinho, etéreo, fusel; Fraco frutal-vinho
Metilpentenal	623-36-9	C ₆ H ₁₀ O	Verde pungente, frutal (odor); Doce, frutal, marrom (sabor)
Acetol	116-09-6	C ₃ H ₆ O ₂	Levemente verde; Fraco doce e nota de caramelo
Metiltiazol	693-95-8	C ₄ H ₅ NS	Noz, vegetal verde, carne, com uma nota aliácea

Linolenato de Metila	301-00-8	$C_{19}H_{32}O_2$	Óleo gorduroso
Ácido Butanoico	107-92-6	$C_4H_8O_2$	Forte, queijo, manteiga, acedo (odor e sabor)
Butirolactona	96-48-0	$C_4H_6O_2$	Fraco, levemente caramélico, noz, manteiga odor
Ácido Dodecanoico	143-07-7	$C_{12}H_{24}O_2$	Fraco, refrescante, ceroso (odor); Gorduroso-ceroso-ensaboadado (sabor)
Butiltetrahidrofurano	1004-29-1	$C_8H_{16}O$	Doce, solvente, gordura, levemente verde
Tioacetato de metila	1534-08-3	C_3H_6OS	1 ppm: repolho-vegetal; 0,1 ppm: pipoca-cereal (sabor); queijo
Metilal	109-87-5	$C_3H_8O_2$	Etéreo, terroso, alcólico, levemente frutal, rum

Comentários finais

A análise dos extratos obtidos neste trabalho indicou que a técnica de extração com isopropanol foi eficaz na obtenção de compostos aromáticos relevantes sensorialmente ao aroma de banana a partir de sua casca. Isso representa uma oportunidade de agregar valor a um resíduo produzido em abundância tanto domesticamente como na indústria de alimentos. Ademais, a crescente demanda por aromas produzidos com a utilização de fontes naturais torna esta abordagem necessária.

A composição dos extratos obtidos evidenciou que diversas substâncias associadas ao aroma de banana foram extraídas, em maior ou menor proporção. Espera-se que o desenvolvimento de um processo de extração e purificação seletivo e eficiente possa viabilizar o emprego destas substâncias na formulação de aromas que demandem aditivos com estes perfis sensoriais, tendo-se o benefício de evitar o uso de aromas obtidos por rotas sintéticas. Por sua vez, a comparação realizada entre a composição do extrato obtido a partir da casca de banana com o aroma comercial desta fruta indicou a presença de um importante composto aromático em comum: o acetato de isoamila. A obtenção deste composto já amplamente empregado na indústria de aromas corroborou o potencial da aplicação da tecnologia simples de extração com solventes neste setor industrial.

Como discutido anteriormente, a abordagem utilizada no trabalho encontrou resultados promissores, dependendo da continuidade de estudo em pesquisas futuras. A fim de obter um perfil sensorial preciso de cada substância na amostra, uma alternativa passível para isso seria a utilização da cromatografia olfatométrica. Além disso, para encontrar a concentração de cada substância obtida na amostra, principalmente as que possuem valor agregado industrialmente, análises quantitativas, como a elaboração de uma curva de calibração, poderiam ser feitas para demonstrar este resultado. Modificações na fruta em si, como o grau de maturação e até a utilização de outras espécies da banana também se tornam interessantes nesta análise, podendo aprimorar ainda mais a utilização da casca da fruta no seu melhor estágio para extração de compostos aromáticos. A otimização do processo de extração, incluindo a utilização de outros solventes ou até misturas de diferentes solventes poderiam ser testadas, juntamente a outros métodos de extração, como a extração por fluido supercrítico, por exemplo, a fim de viabilizar a melhor forma de utilizar os recursos encontrados por este trabalho na casca da banana.

Referências Bibliográficas

- Ampudia, Ricardo. Brasileiro consome em média 25 kg de banana ao ano. Folha de São Paulo, [S. l.], 2019.
- Duas Rodas. AROMAS NATURAIS, UMA FORTE TENDÊNCIA DE MERCADO. 2017.
- Eco Circuito. Lixo orgânico: desafio para a gestão de resíduos no Brasil. 2020.
- Rodrigues, João. ACETATO DE ISOAMILO – MOLÉCULA DA SEMANA. 2015.
- Leffingwell & Associates. Flavor DataBase. 2016.
- Ministério do Meio Ambiente. Gestão de Resíduos Orgânicos. 2017.
- Oliveira, Camila; Souza, Aline.; Santos, Paula; Bárbara, V.; Lachter, Elizabeth; Pinto, C. Synthesis of Fruity Flavor Esters : An Experiment for Undergraduate Courses within one of the Principles of Green Chemistry. [S. l.], v. 6, n. 1, p. 152-167, 2014. DOI: 10.5935/1984-6835.20140012.
- Oliveira, Lenice; Nascimento, Maria Rosa; Borges, Soraia; Ribeiro, Paula Cecília; Ruback, Viviane. Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis F. Flavicarpa*) para produção de doce em calda. Ciência e Tecnologia de Alimentos, [S. l.], v. 22, n. 3, p. 259-262, 2002. DOI: 10.1590/s0101-20612002000300011.
- Phynes, Primary Examiner-lucille M. United States Patent (19). [S. l.], v. 114, n. 19, 1986.
- Rauter Produtos Químicos. Acetato de isoamila. 2019.
- Souza, E.; Carvalho, F.; Wanderley, R.; Silva, E.; Andrade, J.; Wanderley P. Caracterização físico-química da Banana Prata (*Musa sapientum*) comercializada em quatro cidades do Sertão da Paraíba. Anais do VII CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, [S. l.], v. 7, p. 1-3, 2012.
- THE GOOD SCENTS COMPANY. The Good Scents Company Information System. 2018.

EVOLUÇÃO DA DESTINAÇÃO E RECICLAGEM DE PNEUS INSERVÍVEIS NO BRASIL

| ID 18696 |

1Liseane Padilha Thives, 2EneDir Ghisi, 3Juarez Jonas Thives Júnior

1Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: liseane.thives@ufsc.br; 2Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: enedir.ghisi@ufsc.br; 3Faculdade Cesgranrio, e-mail: juarez.thives@cesgranrio.org.br

Palavras-chave: pneus; reciclagem; destinação.

Resumo

Os pneus inservíveis quando descartados ou acumulados na natureza ou em locais inadequados representam uma grande ameaça ao meio ambiente e à saúde pública. A problemática de disposição final de resíduos sólidos ocorre em todos os países do mundo. Neste sentido, são necessárias leis e normas que regulamentem, controlem e avaliem o gerenciamento de resíduos sólidos como os pneus inservíveis. No Brasil, desde 2009, os fabricantes e importadores de pneus novos devem coletar e dar destino adequado a um pneu inservível. A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída em 2010 obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus a implantar sistemas de logística reversa. Neste cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar a evolução da destinação e reciclagem dos pneus inservíveis no Brasil, e verificar o efetivo cumprimento das resoluções dos órgãos ambientais brasileiros e elencar as principais destinações. A metodologia adotada consiste na análise de boletins e documentos dos órgãos ambientais brasileiros entre os anos de 2010 e 2019. Como resultado, o cumprimento da meta de destinação nacional, para os fabricantes e importadores de pneus novos, e a efetiva quantidade de pneus destinados de forma ambientalmente adequada não foi alcançada em nenhum dos anos avaliados. Por outro lado, em todos os anos os fabricantes de pneus novos cumpriram a meta, enquanto importadores não atingiram a meta estabelecida. Os principais tipos de atividades de destinação ambientalmente adequada, entre 2010 e 2019, foram o co-processamento (2.615.299 t), a granulação (1.241.456 t) e a laminação (495.624 t). Em média, a região sudeste possui o maior percentual de destinação de pneus inservíveis (57,0%), seguida pela região sul (23,0%), sendo o menor percentual registrado na região norte (2,2%). O Brasil está na direção correta de reaproveitamento dos pneus inservíveis, porém é importante observar que os dados analisados se

referem às informações coletadas, que podem não representar o número total de empresas existentes no país.

Introdução

Todos os anos mais de 1,6 bilhão de pneus novos são produzidos no mundo e, conseqüentemente, cerca de 1 bilhão de resíduos de pneus são gerados (GlobalStein, 2021). No Brasil, anualmente são produzidos, em média, 40 milhões de pneus. Em 2020, as vendas totais (reposição, montadoras, exportação) foram de 67,9 milhões de unidades, menos 6,4 milhões de unidades do que 2019 (ANIP, 2020). No entanto, após o uso os pneus inservíveis se tornam um problema e geram impactos ambientais quando descartados em locais inadequados ou depositados em aterros sanitários ou lixões a céu aberto, afetando a saúde e a qualidade de vida da população. Para amenizar o impacto ambiental gerado pelos pneus inservíveis, metodologias de reciclagem e de re inserção deste resíduo sólido na cadeia produtiva são alternativas viáveis e econômicas.

A coleta e disposição adequada de resíduos sólidos são necessárias para a proteção da saúde pública, segurança e qualidade ambiental. Em 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) por meio da Lei Nº 12.305, com as diretrizes relativas à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil. De acordo com o Art. 33 da PNRS, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus são obrigados a estruturar e implantar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo (BRASIL, 2010).

Os pneus inservíveis — aqueles que sem possibilidade de processo de reforma que permitiria uma condição de rodagem adicional — são considerados um dos mais comuns e importantes resíduos sólidos perigosos do mundo. Sem uma boa gestão, este resíduo ameaça o meio ambiente pela contaminação de águas superficiais e subterrâneas, e são altamente combustíveis, podendo causar incêndios (Kordoghli et al., 2014).

Os pneus dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental com riscos ao meio ambiente e à saúde pública, como exemplo, dificuldade na biodegradação (600 anos). Constituem foco do mosquito *Aedes Aegypt* (transmissor da dengue, chikunguya e zika) e o volume gerado ocupa grandes espaços nas cidades (MMA, 2018).

Anterior à Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu a quantidade de pneus inservíveis que as empresas fabricantes e as importadoras de pneus devem coletar e dar destinação final adequada. De acordo com a Resolução CONAMA Nº 416, de 30 de setembro de 2009, em vigor, para cada pneu novo comercializado (massa

superior a 2 kg), as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível. Os pneus usados devem ser reutilizados, reformados e reciclados antes da destinação final (CONAMA, 2009).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018), para atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os distribuidores, revendedores, destinadores, consumidores e poder público devem atuar em articulação com os fabricantes e importadores para implantar os procedimentos para a coleta dos pneus inservíveis existentes no país. Para promover a logística reversa, parcerias com prefeituras são indicadas para disponibilizar áreas de armazenamento temporário dos pneus inservíveis.

Os fabricantes e importadores de pneus novos deverão declarar ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), numa periodicidade máxima de um ano, a destinação adequada dos pneus inservíveis. De acordo com a Instrução Normativa Nº 1, de 18 de março de 2010 (IBAMA, 2010), as empresas fabricantes e as importadoras de pneus devem declarar no Cadastro Técnico Federal (CTF) Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (APP), informações para a verificação do cumprimento da meta anual de coleta e destinação dos pneus inservíveis.

Considerando os problemas ambientais dos pneus inservíveis quando depositados em lixões a céu aberto ou em locais inadequados e, após mais de dez anos da implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, é importante aferir a gestão deste resíduo no Brasil.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o cumprimento da Resolução CONAMA Nº 416 que dispõe a respeito da prevenção e da degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada e da Instrução Normativa Nº 1 do IBAMA que trata dos procedimentos necessários à execução dessa Resolução. Adicionalmente, são levantados os quantitativos das principais destinações dos pneus inservíveis no Brasil.

Metodologia

A metodologia deste trabalho está dividida em três etapas, como mostra o fluxograma da Figura 1.

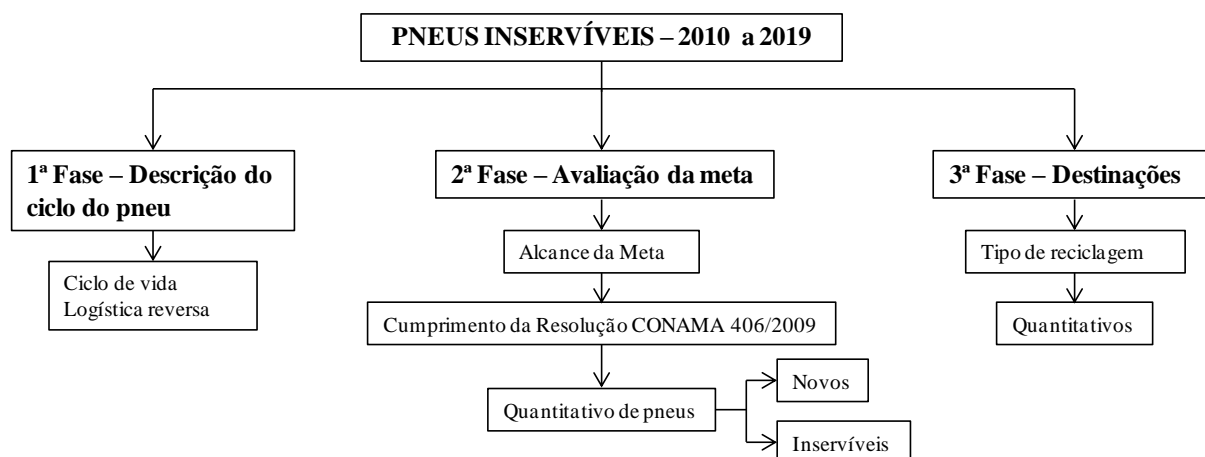


Figura 1: Fluxograma a metodologia.

Na primeira fase é descrito o ciclo de vida do pneu, contemplando as etapas de fabricação e importação, manutenção, fim da vida útil, descarte e coleta, destinação e produtos reciclados. A avaliação da meta das empresas fabricantes e importadoras é avaliada na segunda fase. Os dados foram obtidos nos relatórios anuais do IBAMA e do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Para o cálculo da meta, inicialmente as empresas fabricantes e importadoras realizam a inscrição no Cadastro Técnico Federal (CTF), de acordo com a categoria (Tabela 1) e preenchem dois relatórios anualmente, sendo inseridos os dados a cada trimestre (IBAMA, 2010). As atividades seguem o disposto na Instrução Normativa IBAMA Nº 11, de 17 de abril de 2018, de impacto nas atividades de importação de pneus novos e destinação de pneus inservíveis (IBAMA, 2018a).

Tabela 1: Categorias de cadastramento das empresas no CTF (Baseado em IBAMA, 2018a).

Cadastramento	Categoria	Descrição
Importadora	Veículos automotores e pneus	Importador de pneus e similares
Fabricante	Indústria e borracha	Fabricação de pneumáticos
Empresa destinadora	Serviços de utilidade	Destinação de pneumáticos

O primeiro relatório contém informações de atividades como produção, importação, exportação e envios de pneus às montadoras de veículos novos (que se enquadram na posição 4011 da Nomenclatura Comercial do Mercado Comum do Sul – Mercosul (NCM)) e as quantidades em quilogramas e unidades. No segundo relatório são cadastradas informações referentes aos pontos de coleta implantados. As empresas destinadoras de pneumáticos inservíveis devem informar o Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica – CNPJ da empresa beneficiada (fabricante ou importadora), e

as destinações realizadas (quantidade em quilo e tipo de processo utilizado). Por meio do sistema, as empresas acompanham a evolução da meta de destinação e se foi cumprida.

O cálculo da meta anual é realizado por meio da Equação (1) para fabricantes e Equação (2) para importadores. A quantidade de pneus comercializados no mercado de reposição é calculada por meio da Equação (3), na qual se aplica ainda um percentual de 30% pelo fator de desgaste.

$$\text{Meta} = [(\text{peso } a - \text{peso } b - \text{peso } d) \times 0,70] \quad (1)$$

Onde: *a* é o total de pneus fabricados, *b* é o total de pneus exportados, *d* é total de pneus enviados às montadoras para equipar veículos novos. *a*, *b* e *c*, em peso e unidade.

$$\text{Meta} = [(\text{peso } a - \text{peso } b) \times 0,70] \quad (2)$$

Onde: *a* é o total de pneus importados, *b* é total de pneus enviados às montadoras para equipar veículos novos. *a* e *b*, em peso e unidade.

$$MR = (P + I) - (E + EO) \quad (3)$$

Onde: *MR* é Mercado de Reposição, *P* é o total de pneus produzidos, *I* é o total de pneus importados, *E* é o total de pneus exportados, *EO* é total de pneus que equipam veículos novos.

Por meio dos dados obtidos, verificou-se o cumprimento da meta estabelecida pela Resolução CONAMA Nº 416/2009 e avaliou-se, no período de 2010 a 2019, o quantitativo de pneus novos e inservíveis no país. Na terceira fase são apresentados os quantitativos referentes às principais destinações dos pneus inservíveis quanto à reciclagem e respectivos quantitativos.

Resultados

Ciclo de vida do pneu

A Resolução CONAMA Nº 416/2009 define pneu (ou pneumático) como sendo o componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado em uma roda de veículo e contendo fluido sobre pressão, transmite tração; e ainda devido à sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo. A conceituação adotada para os tipos de pneus, de acordo com sua

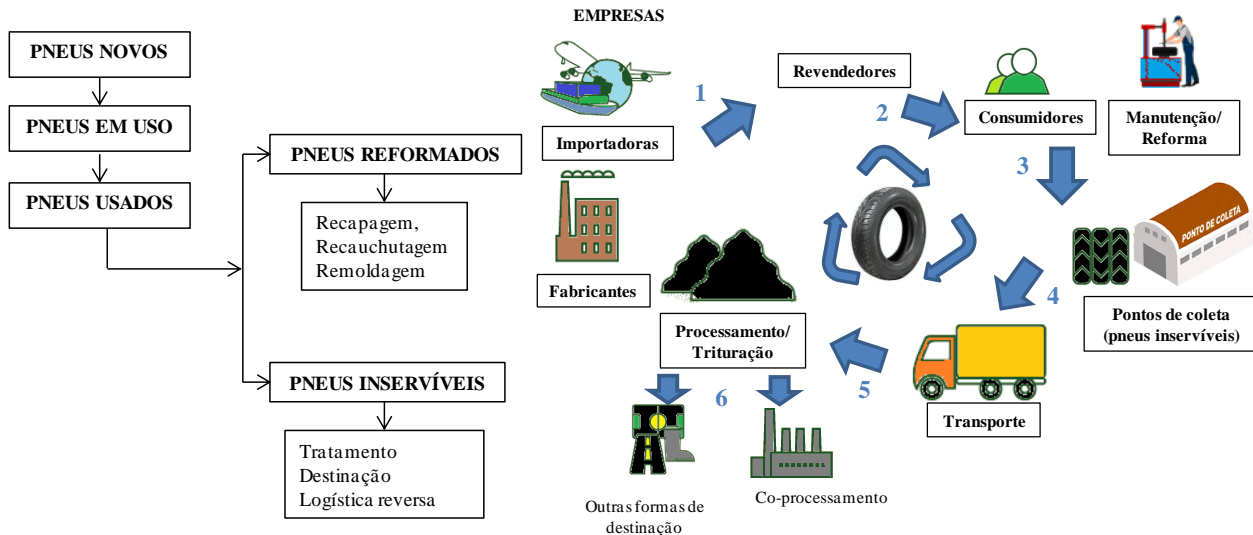
condição é apresentada na Tabela 2. A Figura 2(a) ilustra, de forma simplificada, o ciclo de vida do pneu e a Figura 2(b), o ciclo de logística reversa.

Tabela 2: Classificação dos pneus (Baseado em CONAMA, 2009).

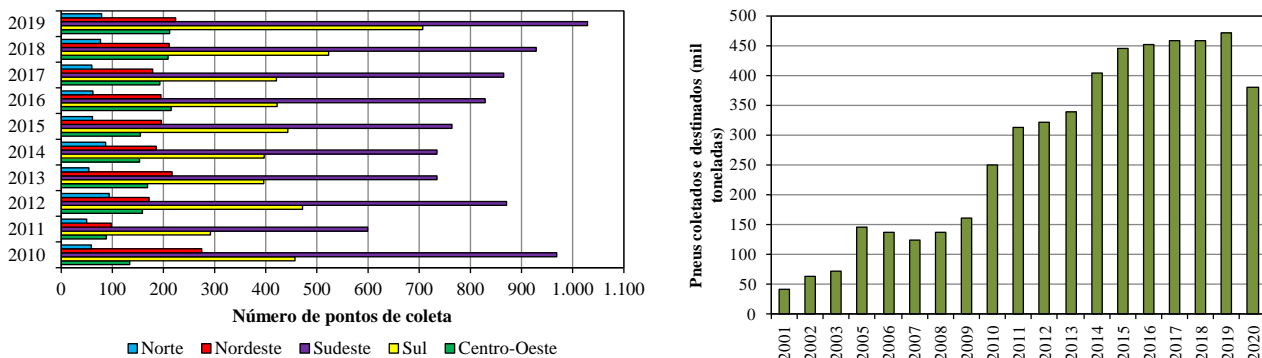
Tipo	Descrição
Novo	Pneu, de qualquer origem, que não sofreu qualquer uso, nem foi submetido a qualquer tipo de reforma e não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações.
Usado	Pneu que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste. Engloba os reformados e inservíveis.
Reformado	Pneu usado que foi submetido a processo de reutilização da carcaça com o fim específico de aumentar sua vida útil Os processos são por meio de recapagem, recauchutagem e remoldagem.
Inservível	Pneu usado que apresenta danos irreparáveis em sua estrutura sem mais possibilidade de rodagem ou de reforma.

De acordo com a Figura 2(a), o pneu novo em uso passa a ser pneu usado, que pode sofrer manutenção ao longo de sua vida útil ou ser descartado como pneu inservível e assim, destinado à reciclagem. Conforme a Figura 2(b) observa-se que após o ciclo de vida, o pneu inservível deve ser levado aos pontos de coleta e transportado para destinação ambientalmente adequada. Os pontos de coleta são os locais definidos pelos fabricantes e importadores de pneus para receber e armazenar provisoriamente os pneus inservíveis.

A Resolução CONAMA Nº 416/2009 estabelece que para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão realizar a coleta e dar destinação adequada a um pneu inservível. Além disso, as empresas devem implantar pontos de coleta de pneus inservíveis em todos os municípios com população superior a 100 mil habitantes. A Figura 3(a) apresenta a quantidade de pontos de coleta por região. No Brasil, em 2019 havia 2.251 pontos de coleta, distribuídos entre os estados e no Distrito Federal, sendo 1.256 localizados em cidades com mais de 100.000 habitantes. A região sudeste concentra o maior número de pontos com um percentual de 45,7% e a região norte o menor, com 3,5% do total. O estado de São Paulo concentra o maior número de pontos de coleta (609), seguido por Minas Gerais com 300 e Rio Grande do Sul com 292. Observa-se que ao longo do período avaliado o número de pontos de coleta tem aumentado. De 2001 a 2020 foram recolhidos e destinados adequadamente mais de 5,6 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 1,1 bilhão de pneus de passeio (RECICLANIP, 2020). Entre 2001 e 2019 houve um crescimento na quantidade de pneus destinados, porém em 2020 houve uma queda de 19%, provavelmente devido à pandemia da COVID-19 (Figura 3b).



(a) Ciclo de vida (b) Logística reversa
Figura 2: Ciclo de vida e logística reversa do pneu.
 Adaptado de: MMA, 2018; RECICLANIP, 2020a



(a) Pontos de coleta por região (b) Pneus destinados de 2001 a 2020
Figura 3: Pontos de coleta de pneus inservíveis e quantitativo de destinados.
 Adaptado de: IBAMA, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019, 2020;
 RECICLANIP, 2020b

É importante destacar que Resolução CONAMA Nº 452, de 2 de julho de 2012, proibiu a importação de pneumáticos usados (Classificação como Resíduos Inertes – Classe IIB) (CONAMA, 2012). Esta proibição é considerada muito importante, uma vez que os resíduos de pneus produzidos em outros países não mais contribuem para o aumento deste tipo de resíduo no Brasil.

Avaliação da meta

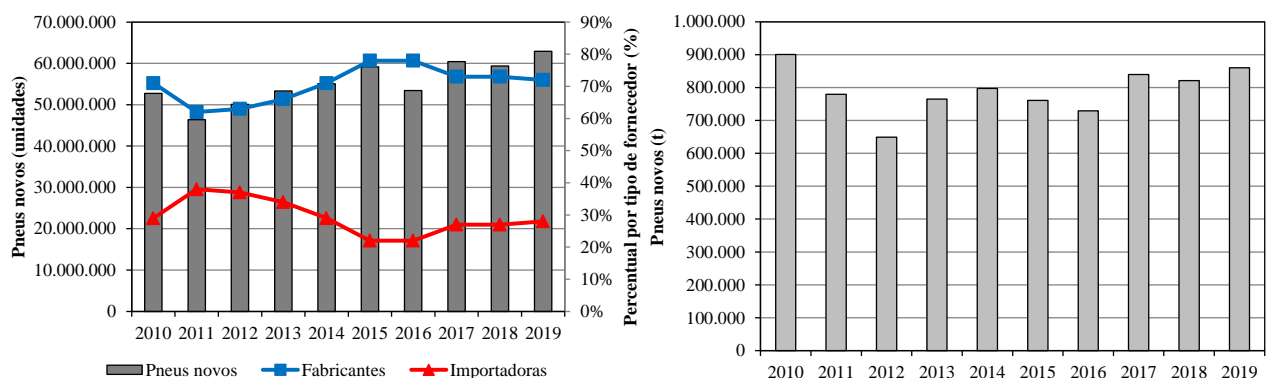
Para proceder à avaliação da meta pelas empresas fabricantes e importadoras de pneus, foram analisados relatórios anuais do IBAMA, entre os anos de 2010 a 2019. Inicialmente foi avaliado o mercado de reposição.

A Figura 4(a) apresenta a quantidade total de pneus novos dispostos no mercado de reposição no período de análise, calculada de acordo com a Equação 3 e, também, o percentual de participação por setor, produzida ou importada. A Figura 4(b) ilustra a quantidade de pneus novos em toneladas.

A Figura 5 apresenta a meta de destinação nacional de cada ano, que corresponde ao somatório das metas individuais para os fabricantes e importadores de pneus novos e a efetiva quantidade de pneus destinados para cumprimento da meta, representada pelo saldo de destinação.

Os valores foram calculados por meio das Equações (1) e (2). Entre 2010 e 2019, em média, 17 empresas fabricantes e 531 importadoras declararam os dados no Cadastro Técnico Federal. Por meio da Figura 5, observa-se que em nenhum dos anos a meta de destinação nacional foi atingida (fabricante e importadores). Em 2019, o percentual de destinação foi de 97,2% e sem destinação de 2,8%.

No entanto, é necessário avaliar separadamente a meta de destinação pelos fabricantes e importadores. A Figura 6(a) mostra o cumprimento da meta, a destinação e percentual de cumprimento para as empresas fabricantes, enquanto a Figura 6(b) para as importadoras de pneus.



(a) Pneus novos em unidades e percentual por fornecedor (b) Pneus novos em toneladas
Figura 4: Pneus novos colocados no mercado de reposição (unidades e toneladas) e percentual de unidades entre fabricantes e importadores (Baseado em IBAMA 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019, 2020).

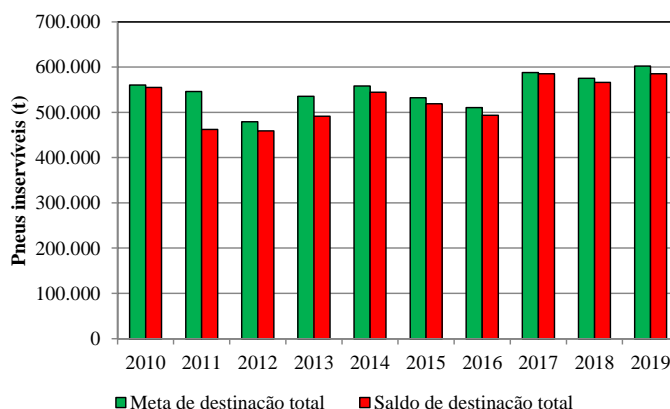
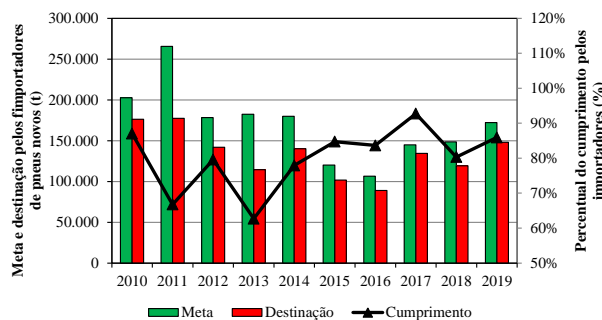
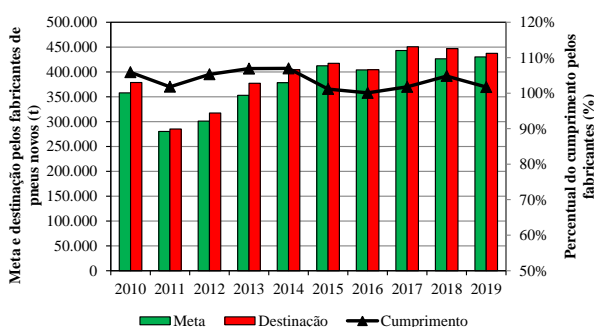


Figura 5: Meta de destinação nacional (Baseado em IBAMA 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019, 2020).



(a) Fabricantes (b) Importadores

Figura 6: Meta, destinação e percentual do cumprimento pelos fabricantes e importadores de pneus novos (Baseado em IBAMA 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019, 2020).

Em 2019 os fabricantes de pneus novos atingiram 101,72% da meta de destinação estabelecida para o ano de 2019, enquanto os importadores cumpriram a meta em 85,92%.

Destinações

Anteriormente à popularização da consciência ambiental, o descarte em aterros sanitários ou estocagem por empilhamento era a opção para gerenciar os pneus inservíveis. Posteriormente, considerando que os pneus ocupam um grande volume nos aterros sanitários, há risco de ignição, que a impermeabilidade dos aterros sanitários nem sempre é garantida, além do potencial econômico que este resíduo representa, alternativas de reciclagem e reaproveitamento foram estabelecidas por meio de diversos processos e atividades.

A logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos

produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (MMA, 2018). A destinação ambientalmente adequada é considerada como um procedimento técnico no qual os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por técnicas admitidas pelos órgãos ambientais (CONAMA, 2009).

Os tipos de atividades de destinação ambientalmente adequada dos pneus inservíveis coletados e declarados pelas empresas destinadoras no Cadastro Técnico Federal (CTF), foram as seguintes, cujos quantitativos são apresentados na Tabela 3:

- Co-processamento: realizado por empresas de fabricação de cimentos e que co-processam os pneus nos fornos de clínquer como substituto parcial de combustíveis;
- Laminação: usado por empresas que fabricam artefatos de borracha;
- Reciclagem: aplicada por empresas que fabricam a borracha moída e aproveitam o aço;
- Regeneração da borracha: processo realizado por empresas que desvulcanizam a borracha;
- Industrialização do xisto: aplicado em empresas que co-processam o xisto betuminoso com pneus;
- Pirólise: consiste no processo de decomposição térmica da borracha conduzido na ausência de oxigênio ou em condições em que a concentração de oxigênio é suficientemente baixa para não causar combustão, com geração de óleos, aço e negro de fumo;
- Granulação: processo industrial de fabricação de borracha moída, em diferente granulometria, com separação e aproveitamento do aço.

A queima em fornos de alta temperatura de pneus inservíveis é um processo químico para obter energia. Devido ao alto poder calorífico, pneus inservíveis são utilizados como combustível alternativo em fornos de cimenteiras, em substituição ao coque de petróleo (RECICLANIP, 2020c). O uso de pneus inservíveis, como combustível é denominado combustível derivado de pneus, é uma alternativa econômica aos combustíveis fósseis, principalmente para fabricantes de cimento, cujo consumo de energia é um de seus maiores gastos. Além disso, seu uso reduz as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) devido à incineração ser mais eficiente (Turer, 2012; Grammelis et al., 2021). De acordo com a Tabela 3, observa-se que o co-processamento é a atividade mais utilizada no país, ou seja, 2.615.299 toneladas de pneus inservíveis foram utilizadas entre 2010 e 2019.

Tabela 3: Tipos e quantitativo de destinação de pneus inservíveis (Baseado em IBAMA 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019, 2020).

Ano	Quantitativo de destinação (t)						
	Co-processamento	Industrialização do xisto	Laminação	Reciclagem	Regeneração	Pirólise	Granulação
2010	294.956,94	7.549,51	91.714,70	160.768,18	118,28	-	-
2011	256.481,24	8.334,18	59.197,88	138.313,28	130,62	-	-
2012	219.269,09	9.810,00	61.115,93	-	-	336,03	168.499,14
2013	267.448,35	14.700,00	43.839,44	-	17,47	72,94	165.574,82
2014	300.510,70	-	54.168,63	-	316,28	-	189.699,79
2015	307.015,71	-	82.807,09	-	262,10	6.599,49	122.239,97
2016	297.168,80	-	56.945,41	-	-	5.344,49	133.940,43
2017	274.815,07	-	81.625,74	-	-	13.208,46	215.604,04
2018	326.401,99	-	95.596,99	-	-	9.305,31	135.019,54
2019	366.188,58	-	12.535,83	-	-	95.788,35	110.878,32
Total	2.615.299,58	40.393,69	485.624,62	299.081,46	844,75	130.655,07	1.241.456,05

Cortados em lascas, os pneus inservíveis são transformados em pó de borracha que passam por um sistema de peneiras até atingir a granulometria para a atividade desejada. De acordo com CEMPRE (2020), após a redução granulométrica, o material passa por tratamento químico para possibilitar a desvulcanização da borracha, denominado processo de regeneração. Em autoclaves giratórios, o material recebe o oxigênio, calor e forte pressão, que provocam o rompimento de sua cadeia molecular. Ainda, misturados com outros químicos para formam novos produtos finais. A técnica de regeneração não era muito expressiva no Brasil e foi mais adotada até 2016 (Tabela 3)

Somente através de processo mecânico de granulação, peneiras e aspiração de fibras de tecido, a um custo baixo e de menor impacto ambiental que o químico, o material é reutilizado para confecção de tapetes de automóveis, mangueiras, solas de sapato, quadras poliesportivas e pisos industriais. Este processo engloba as atividades de reciclagem, laminação e granulação (CEMPRE, 2020). Observa-se que a partir de 2013 houve um aumento da atividade de granulação (Tabela 3), que pode ser atribuído ao desenvolvimento e ampliação do uso de asfalto borracha na produção de misturas asfálticas usadas como revestimento de pavimentos flexíveis no Brasil. No processo de laminação, os pneus não radiais são cortados em lâminas que servem para a fabricação de percintas (indústrias moveleiras), solas de calçados e dutos de águas pluviais (RECICLANIP, 2020c).

Mais de 40.000 toneladas de pneus inservíveis foram usadas na industrialização do xisto entre 2011 e 2014 (Tabela 3). Esta tecnologia foi desenvolvida pela empresa Petróleo Brasileira S/A

(Petrobras). Os pneus triturados são incorporados à carga de xisto em volume de até 5% da carga total (Carvalho, 2009).

Pirólise processo de decomposição térmica da borracha conduzido na ausência de oxigênio ou em condições em que a concentração de oxigênio é suficientemente baixa para não causar combustão, com geração de óleos, aço e negro de fumo (IBAMA, 2020). O processo ocorre sob pressão em temperaturas acima de 430°C e transforma o material em frações gasosas, líquidas e sólidas que podem ser integralmente reaproveitadas, inclusive na própria cadeia produtiva dos pneus. A reciclagem através da pirólise dos pneus está em crescimento no Brasil (Tabela 3).

A *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) acrescenta que há novas utilidades para os pneus inservíveis como barreiras de som em rodovias e como dormentes de ferrovias. As barreiras de som são produzidas por uma mistura de agregados, cimento, água e pequenos pedaços de borracha triturada de pneus inservíveis. Os dormentes de ferrovias revestidos de borracha são altamente duráveis e têm um núcleo de viga de aço preenchido com concreto que é envolto em pneus triturados. Os dormentes são 200% mais resistentes do que dormentes de madeira e duram de 60 a 90 anos, contra 5 a 30 anos dos de madeira (EPA, 2020).

A Figura 7 mostra o percentual de destinação dos pneus inservíveis por região. Observa-se que as regiões sudeste e sul apresentam, em todos os anos, o maior quantitativo de pneus destinados em relação às demais regiões. A avaliação do número de pontos de coleta e percentual entre as regiões, apresentado na Figura 8, mostra que as regiões sudeste e sul também apresentam mais pontos de coleta e percentuais de 57% e 23%, respectivamente.

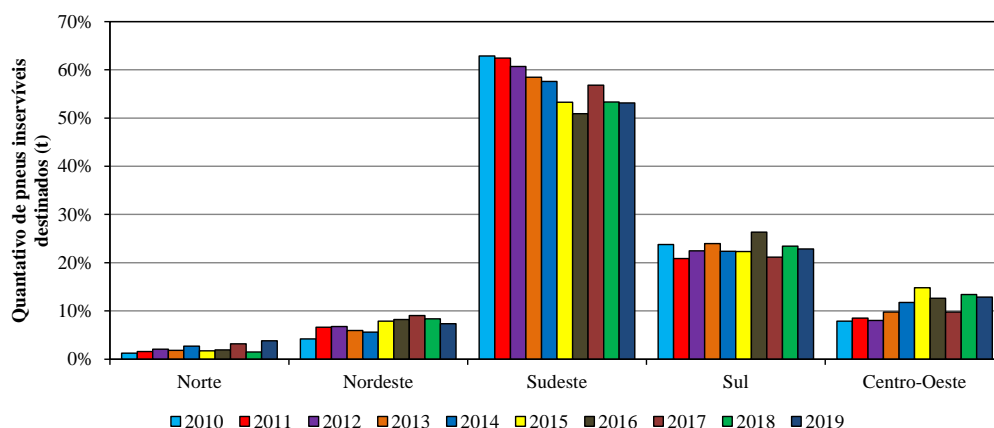


Figura 7: Percentual de destinação de pneus inservíveis por região (Baseado em IBAMA 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019, 2020).

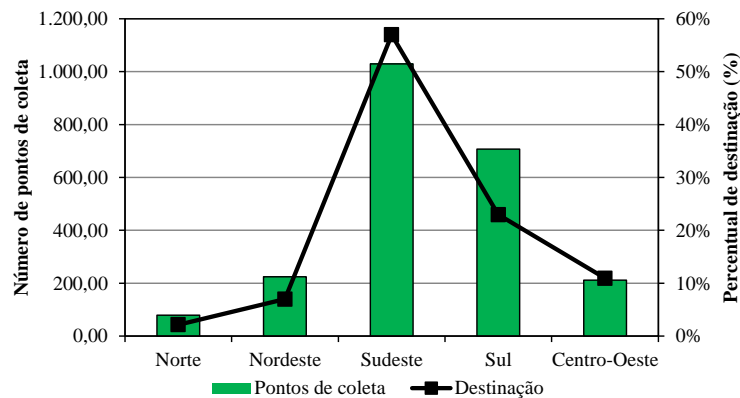


Figura 8: Pontos de coleta e percentual de destinação por região (Baseado em IBAMA 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019, 2020).

Conclusões

O descarte de resíduos sólidos é um problema generalizado nas áreas urbanas e rurais de muitos países. A coleta e destinação é um desafio que o ambiente urbano enfrenta na atualidade. Neste contexto, inserem-se os pneus inservíveis.

O Brasil, por meio das Resoluções CONAMA Nº 416/2009 e Nº 452 e Instrução Normativa IBAMA Nº 11, mostra que está um passo à frente de muitos países em desenvolvimento quanto à destinação e reuso de pneus inservíveis.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010 também corrobora para a aplicação da sustentabilidade no país. No entanto, a gestão dos pneus inservíveis continua a ser um desafio para as autoridades ambientais brasileiras.

No período avaliado, entre 2010 e 2019, as metas estabelecidas foram cumpridas pelos fabricantes de pneus novos mas não pelos importadores. Em 2019 os fabricantes de pneus novos atingiram 101,72% da meta de destinação estabelecida para o ano de 2019, enquanto os importadores cumpriram a meta em 85,92%. Neste sentido, é importante estabelecer políticas públicas de incentivo e por outro lado, aplicação de legislação pertinente e punitiva quanto ao descumprimento.

Com relação ao percentual de destinação dos pneus inservíveis, observou-se que as regiões sudeste e sul apresentaram, em todos os anos, o maior quantitativo de pneus destinados em relação às demais regiões. Estas regiões também contém um número mais elevado de pontos de coleta. Assim, maior incentivo deve ser dado às regiões norte, nordeste e centro-oeste para que uma

quantidade mais elevada de pneus inservíveis seja adequadamente destinada também nestas regiões.

As principais atividades de destinação de pneus inservíveis no Brasil são o co-processamento (2.615.299 t), a granulação (1.241.456 t) e a laminação (495.624 t). Sugere-se que novas formas de aproveitamento, para além das já adotadas, sejam implantadas, e que haja maior adesão à logística reversa no país.

O Brasil está na direção correta de reaproveitamento dos pneus inservíveis, porém é importante observar que os dados analisados se referem às informações coletadas, as quais, podem não representar o número total de empresas existentes no país.

Referências Bibliográficas

ANIP, 2020. Vendas totais e principais canais de venda. Associação nacional das Indústrias de pneumáticos – ANIP. Disponível em: <https://www.anip.org.br/sitenovo/wp-content/uploads/2020/04/Vendas-totais.pdf>

BRASIL, 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm.

CONAMA, 2009. Resolução Nº 416, de 30 de setembro de 2009. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Publicada no Diário Oficial da União (DOU) Nº 188, de 01/10/2009, 64-65.

CONAMA, 2012. Resolução Nº, de 02 de julho de 2012. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 04/07/2012.

Carvalho, 2009. Petrobras usa pneu velho para processar xisto. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/ciencia/sustentabilidade/petrobras-usa-pneu-velho-para-processar-xisto,4a38a4b635aab310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>.

CEMPRE, 2020. Pneus. Compromisso empresarial para reciclagem – CEMPRE. Disponível em: <https://cempre.org.br/pneus/>

EPA, 2020. Innovative uses for scrap tires. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://archive.epa.gov/epawaste/conservation/materials/tires/web/html/science.html>.

Grammelis, P., Margaritis, N., Dallas, P., Rakopoulos, D., Mavrias, G., 2021. A review on management of end of life tires (ELTs) and alternative uses of textile fibers. *Energies*, 14, 571, 1-20. <https://doi.org/10.3390/en14030571>.

Globalstein, 2021. Global Tire Recycling Industry Analysis By Rubber Type, By Product Type, By End User And By Geography & COVID-19 Impact With Market Outlook 2017-2030. Industry Research Outlook, 2121 Edition. Disponível em: <https://www.goldsteinresearch.com/report/global-tire-recycling-industry-market-trends-analysis>.

IBAMA, 2010. Instrução Normativa Nº 1, de 18 de março de 2010. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Publicada no Diário Oficial da União (DOU) de 19 de março de 2010.

IBAMA, 2011. Relatório de Pneumáticos. Ano base: Out/2009 – Dez/2010 (Versão 2). Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA, 2012. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2011. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA, 2013. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2012. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA, 2014. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2013. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA, 2015. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2014. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA, 2016. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2015. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA, 2017. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA 2018a. Instrução Normativa nº 6, de 15 de março de 2013. Regulamenta o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais - CTF/APP. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Publicada no Diário Oficial da União (DOU) de 17 de abril de 2018.

IBAMA, 2018b. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2017. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA, 2019. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2018. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

IBAMA, 2020. Relatório de Pneumáticos. Ano base: 2019. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatorio-pneumaticos>.

Kordoghli, S., Paraschiv, M., Kuncser, R., Tazerout, M., Prisecaru, M., Zagrouba, F., Georgesc, I., 2014. Managing the environmental hazards of waste tires. *Journal of Engineering Studies and Research*, v. 20, No. 4, 1-11.

MMA, 2018. Pneus inservíveis. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR. Disponível em: <https://sinir.gov.br/index.php/component/content/article/2-uncategorised/123-pneus-inserviveis>.

RECICLANIP, 2020a. Ciclo do pneu. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/ciclo-do-pneu/>

RECICLANIP, 2020b. Destinados. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/destinados/>

RECICLANIP, 2020c. Destinados. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/principais-destinacoes/>

Turer, A., 2012. Recycling of scrap tires. *Material Recycling – Trends and Perspectives*, chapter 8. doi: 10.5772/32747. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/material-recycling-trends-and-perspectives/use-of-scrap-tires-in-industry>.

TROTE PELO AMANHÃ: O SISTEMA QUE TRARÁ UM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS EM UNIVERSIDADES

| ID 18806 |

1Pedro Rafael Borba Leal , 2Maira Gazzi Manfro, 3Júlia Nicolao Piacentini, 4Júlia Battaglin Pierdona, 5Larissa Pereira Duarte

1Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: pedro06leal@gmail.com; 2Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: mairagmanfro@gmail.com; 3Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: jnicolaopiacentini@gmail.com; 4Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: battaglinjulia@gmail.com; 5Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); e-mail: larissaduarte467@gmail.com

Palavras-chave: Resíduos; Reaproveitamento; Trote.

Resumo

A Revolução industrial trouxe consigo grandes problemas relacionados a resíduos que, se descartados de maneira incorreta, podem causar diversas adversidades para a sociedade. No aspecto das grandes cidades urbanas brasileiras o problema ainda persiste devido ao inapropriado descarte delas, e com o objetivo de diminuir esta situação este estudo traz uma proposta de reaproveitamento de resíduos usando calouros de universidades por meio de um trote solidário.

A palavra trote muitas vezes é negligenciada, por estar ligada a aspectos de violência física ou psicológica, porém o seguinte trote pode ser observado de uma maneira diferente pois tem como um dos objetivos manter a integridade dos calouros e além do mais poderá ser realizado apenas pelos estudantes que escolherem participar, não tendo relações de obrigação, contudo, os alunos que optarem e serem destaques no projeto receberão prêmios.

O Trote pelo Amanhã (nome do projeto) se baseia na construção de um ambiente de lazer e estudo dentro da universidade, todavia esse local será feito somente por meio da reutilização de resíduos sólidos. Além do foco sustentável, por demonstrar estar dentro dos objetivos da ODS 11 e ODS 12, o projeto tem como alvo também a maior interação entre calouros e veteranos de maneira saudável, pois ao participarem estarão envolvidos com grupos dentro da universidade. Ademais, cabe ressaltar que ele também trará aspectos envolvidos com a educação ambiental, por trazer conhecimentos voltados à preservação do meio ambiente.

O projeto iniciou-se com objetivo de resolver problemas dentro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) de maneira sustentável e, para isso, foram realizadas pesquisas dentro da instituição que serão parte da base para a elaboração deste artigo, pois ajudam a concluir que há interesse de alunos para a realização dele. Dentro dessa análise ocorreu a produção de um questionário que continha perguntas relacionadas a falta de espaço nos *campi* da universidade, a escassez de integração entre calouros ou entre calouros e veteranos, ademais foi feita uma questão indagando se os alunos participariam de um trote que deixaria um legado para a comunidade acadêmica.

Além disso, após concluir o questionário que ajudou a construir a ideia do trote, precisou-se fazer pesquisas, que também farão parte da estrutura deste artigo, sobre possíveis objetos que podem ser produzidos através dos resíduos sólidos que seriam arrecadados pelos calouros no projeto e os impactos que eles poderiam gerar. Dentre esses foram selecionados para serem elaborados: pufes feitos de garrafas pets; pebolins montado por caixas, prendedores e palitos que já foram utilizados; mesas feitas de Canos PVC e madeiras reutilizadas; balanços construídos de pneus que seriam jogados fora; e uma estrutura feita de paletes. Também é apresentado no artigo um possível caminho cronológico para a elaboração desse evento, tendo início na primeira semana com divulgação, inscrições e separações de grupos para a realização, após essa semana se iniciará a arrecadação e estará aberta para todo o semestre, depois de uma boa quantidade de arrecadações e dependendo da disponibilidade dos participantes se iniciará o processo construtivo, já nas últimas semanas do semestre será dado um prêmio para os alunos que mais participaram e no início do semestre seguinte o espaço será inaugurado.

Nesse sentido em que se direciona o artigo sobre trote estudantil é possível observar que ele poderá gerar impactos de cunho ambiental, contudo não resolverá completamente os problemas relacionados aos resíduos, sendo portanto simplesmente um meio de reduzir. E que para gerar mais impactos deve-se ser realizado em diversos *campi* da universidade e, se permitido, em outras faculdades, pois assim trará mais resultados dentro do município ou estado. Ademais ressalta-se o projeto como um ótimo meio de ajudar na interação entre calouros e também um meio de promover o desenvolvimento da faculdade.

Introdução

Os seres humanos sempre geraram resíduos, contudo não havia tantas preocupações devido aos poucos prejuízos que eram causados já que os recursos estavam começando a ser explorados e tinham em mais abundância, porém a partir do século XVIII houve o surgimento de uma “onda” industrial que tinha como objetivo o crescimento econômico em pouco tempo, o sistema criado gerou excedentes de riquezas econômicas, mas também trouxe adversidades para a sociedade e meio ambiente, entre essas pode-se citar algumas relacionadas aos detritos (CASAGRANDE, 2008). Os problemas com resíduos ainda continuam causando riscos à saúde pública, também uma degradação ambiental, além disso os aspectos sociais, econômicos e administrativos estão diretamente ou indiretamente relacionados a esta questão (SIQUEIRA,2009).

Os resíduos sólidos, chamados de “lixos” pelas comunidades de maneira errônea, pois o lixo é algo que não gera interesse para ninguém, já o resíduo é todo material que, se descartado de maneira correta, pode ser reaproveitado ou reciclado (GODINHO,2018 apud CALVIS e SILVA,2020). Os resíduos podem ser, segundo Andrade (2011) “provenientes das atividades industrial, doméstica, comercial, agrícola e de serviços.” E o seu problema não está ligado só à quantidade que pode ser gerada, mas a forma de descarte final que gera lixões que poluem tanto o solo como o ambiente, e para que sejam diminuídas as dificuldades que ele ocasiona é proposto medidas de reaproveitamento e reciclagem de resíduos.

No ano de 2015 o Brasil alcançou 79,9 milhões de RSU (resíduos sólidos urbanos) e cerca de 90,8% foi devidamente coletado, gerando 7,3 milhões de resíduos com destinos inadequados (ABRELPE,2016 apud ZAGO, & BARROS,2019) que possivelmente provocou grandes problemas ambientais. Em um estudo feito por Meneses e Dapper (2013) foi realizado um questionário via web para 253 cidadãos de Porto Alegre onde se chegou ao resultado de que “um terço dos respondentes afirma ter o costume de buscar informações sobre o correto modo de descarte” e também “20% dos respondentes insinuam concordar totalmente que reutilizam as embalagens dos produtos para outras funções após consumir o produto.” Com esse resultado é possível observar que dentro da metrópole do Rio Grande do Sul precisava-se de meios que estimulam o reaproveitamento do produto. O mal descarte de resíduos assim como a falta de meios que trazem impulso para a sociedade se conscientizar ainda permanece no Brasil nos dias atuais trazendo grandes consequências para todos.

O presente artigo constitui-se em uma proposta relacionada ao reaproveitamento por meio de uma ação entre calouros que se inicia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), trazendo consigo o conceito de um “trote solidário” por trazer integração entre os novos alunos da

universidade interligando ações que unem a sociedade e o meio ambiente, promovendo o conceito de desenvolvimento sustentável. A palavra trote muitas vezes é vista como uma relação de opressão dos veteranos para com os calouros, em uma entrevista feita por Vegini (2019) em uma universidade federal do sul do Brasil alunos associaram a palavra à “práticas de violências físicas ,morais e psicológicas que geram desconfiança e temor.” Porém o projeto a seguir vem para alterar a forma de como muitos pensam que é um trote, trazendo um exemplo positivo para a sociedade para que assim seja seguido por diversas universidades do Brasil.

Segundo Colloca (2003, apud JÚNIOR, 2018) o trote solidário surgiu durante o processo de mudança, em que universidades buscavam transformações nos trotes visando a integridade moral e física do calouro, dentro desses conceitos de trote se apresenta o projeto deste artigo. Ele não trará nenhuma dor (tanto psicológica quanto física) ao aluno que participar, e nenhum calouro será obrigado a entrar no projeto, todos que participarem serão por livre escolha, diferente de muitos casos como o tão polêmico que houve dentro da UFRGS em que calouros de Biblioteconomia foram obrigados a contar histórias para crianças (VILANI,2015).

O “Trote pelo Amanhã” (nome dado ao programa) foi um dos destaques apresentados para a banca de expertises no Projeto de Acolhimento dos Calouros da Escola de Engenharia da UFRGS (realizado pelo Núcleo de Ações Discentes - NADI) que tem como objetivo tornar a universidade mais sustentável.

O trote trará benefícios para a universidade por ajudar na imagem que vem sendo denegrida por trotes de mau gosto como no caso em que alunos novos foram obrigados a segurar cabeças de porco e foi jogada em suas cabeças vísceras de peixe (FREITAS, 2013) e também por construir um ambiente de estudo dentro dela. Também para a sociedade por estar relacionado aos objetivos e desenvolvimento sustentável da ONU, dentre eles ODS 11 (que tem como objetivo a criação cidades e comunidades sustentáveis) e a ODS 12 (por criar um consumo e produção responsável) e aos calouros por promover maior integração entre eles.

Para a realização do projeto é feito um estudo sobre o cenário presente dentro da universidade (com questionários direcionados aos estudantes) para observar a importância da iniciação do projeto, possíveis objetos que podem ser construídos dentro desse ambiente e quais os materiais básicos necessários para a sua realização que gerará redução dos problemas, todas essas informações serão apresentadas neste artigo.

Logo, o projeto terá um viés mais sustentável pois ajudará a diminuir os problemas trazidos pelo descarte inadequado que vem sendo ocasionado de maneira mais forte desde a Revolução Industrial, ademais por estar dentro dos focos proposto pela ONU como desenvolvimento sustentável. Além desse objetivo, o trote irá promover uma maior integração entre calouros de

maneira saudável por estar ligado ao meio solidário (transmitindo em seu processo conhecimento voltado a preservação do meio ambiente) e por não gerar nenhum dano físico ou psicológico ao calouro que se interessar em participar.

Materiais e Métodos

O projeto se iniciou com uma metodologia de desenvolvimento que baseava-se em um estudo de cenário da UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - buscando identificar lacunas existentes na faculdade e elaborar soluções com foco sustentável. Com isso, foram identificadas diversas brechas, selecionando a falta de integração entre calouros e comunidade acadêmica ao iniciarem sua jornada na universidade; a falta de um espaço de lazer e livre integração disponível para todos nos *campi*; o excesso de resíduos sólidos descartados na natureza por alunos da universidade e seus familiares; e os malefícios do trote quando realizado de maneira pejorativa e humilhante.

A etapa subsequente a identificação das lacunas foi uma validação, elaborando questionários de opinião nos quais foram abordados alguns dos problemas relacionados à integração e espaço de lazer. Este foi divulgado via redes sociais - como e-mail, whatsapp e instagram - para atingir um público-alvo definido como alunos da universidade. O formulário foi composto pelas seguintes perguntas: Em que semestre você ingressou na UFRGS?; Você sente falta de um espaço onde as pessoas possam interagir livremente no Campus do Vale?; Você sente falta de um espaço onde as pessoas possam interagir livremente no Campus do CENTRO?; Você sentiu falta de uma integração maior entre os calouros e/ou entre os calouros e os veteranos quando você entrou na UFRGS? Caso você tivesse participado de um trote que construísse um legado para a UFRGS, o que você acha que seria diferente? (Ex: teria conhecido mais pessoas, teria me sentido mais integrado(a) à comunidade, etc); Se você pudesse auxiliar um trote de calouros em que o grupo recebesse uma recompensa, o que gostaria de ganhar?; Dentro da situação de distanciamento social que estamos vivendo, e pensando que os calouros nunca vivenciaram os espaços físicos da UFRGS, você teria alguma sugestão para o acolhimento dos ingressantes?

Com os resultados obtidos começou-se a buscar possíveis soluções que relacionassem todas as dificuldades apresentadas. Para isso, foi utilizada a técnica chamada "*brainstorming*" a qual, na tradução literal, significa "chuva de ideias". Ela se trata de uma listagem de ideias relacionadas ao tema em questão, após se iniciou uma fase de análise de viabilidade de cada ideia apresentada, sendo realizadas conversas com educadores e funcionários do instituto de ensino superior, por eles estarem a mais tempo e conhecerem relativamente melhor. A ideia selecionada trouxe como solução

um trote solidário que promoveria uma maior interação com os recém chegados na universidade e construiria um local de lazer e estudo só que utilizando resíduos que seriam descartados de maneira incorreta, pois assim geraria um resultado sustentável.

Seguidamente, ocorreu um período de estruturação do projeto buscando objetos que podem ser construídos e possíveis parcerias para ajudar a concretizar o projeto. Buscou-se o melhor local e momento de aplicação. Além disso, foi organizado um modelo financeiro e uma sequência cronológica para o modelo de aplicação do projeto.

Para descobrir com quais materiais será trabalhado foi feita uma pesquisa bibliográfica procurando objetos que podem ser feitos através de resíduos e qual o impacto que pode-se gerar no meio ambiente ao trabalhar com eles. Os produtos selecionados para estarem dentro desse espaço são pebolim, puffs, mesas, balanços e um espaço construído de paletes. E os resíduos que serão reaproveitados na construção destes objetos são caixas, prendedores, palitos, garrafas PET 's, madeira, canos PVC e pneus, cada um tendo como foco uma repercussão no ecossistema.

A fim de dar início ao projeto, foram estabelecidas duas parcerias com entidades da universidade federal. Uma delas é a SUINFRA, Superintendência de Infraestrutura, responsável pela manutenção dos espaços físicos dentro da faculdade. O objetivo dessa parceria é um melhor aproveitamento de alguns materiais específicos, os quais serão melhor utilizados por uma mão de obra especializada. Outro parceiro é a ENACTUS, time de empreendedorismo social da universidade, essa parceria visa a arrecadação de alimentos, roupas e materiais de higiene como uma tarefa do trote, pois assim além de resolver problemas relacionados ao ambiente será colocado questões sociais.

Para um melhor desenvolvimento do projeto foi aberta uma discussão e deu-se como resultado: o projeto se inicia com a arrecadação de resíduos localizados no setor urbano (com foco em detritos comerciais e domésticos) realizado pelos calouros de engenharia da faculdade, após a realização deste passo será construído junto com os alunos e com esses materiais arrecadados um espaço de lazer e estudo dentro da universidade por meio da reutilização, contudo antes de começar o trote é preciso realizar pesquisas que serão apresentadas no artigo.

No decorrer desse processo será transmitido informações sobre sustentabilidade para os recém chegados no instituto, pois irá construir valores sociais, conhecimento, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente por meio da coletividade, fator que entende-se como educação ambiental (MILARÉ, 2011 apud RODRIGUES e MENTI, 2016). Além disso, o projeto irá retribuir com um prêmio o aluno que mais se esforçar trazendo assim incentivos para ele buscar conhecer mais sobre reaproveitamento de resíduos.

Resultados e Discussões - questionário validativo

Para a validação das lacunas encontradas na faculdade foi aplicado um questionário para os alunos de universidade que discutia os assuntos relacionados a integração e espaço de lazer no ano de 2020, e este resultou em 129 (cento e vinte e nove) respostas, destas, 43,4% foram de veteranos (cinquenta e seis pessoas) e 56,5% de calouros (setenta e três pessoas). Na figura 1, podemos ver o gráfico que representa as respostas à pergunta: Você sente falta de um espaço onde as pessoas possam interagir livremente no *campus* do Vale?

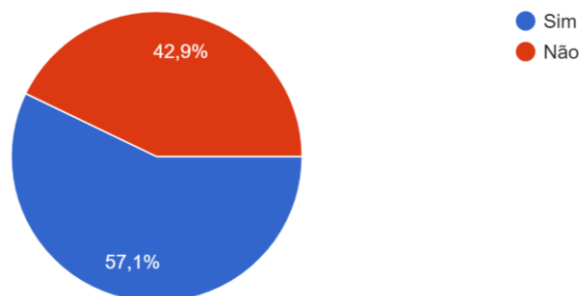


Figura 1: Gráfico representativo das respostas à pergunta: Você sente falta de um espaço onde as pessoas possam interagir livremente no *campus* do Vale?

Ao analisar-se tal resultado, foi possível perceber que o grupo de alunos que respondeu afirmativamente à pergunta é majoritário, portanto, a necessidade de construção de um espaço de lazer no *campus* Vale é verdadeira. Os alunos foram questionados também, acerca de seu sentimento em relação a espaços de lazer no *campus* Centro. A figura 2 representa as respostas a essa pergunta.

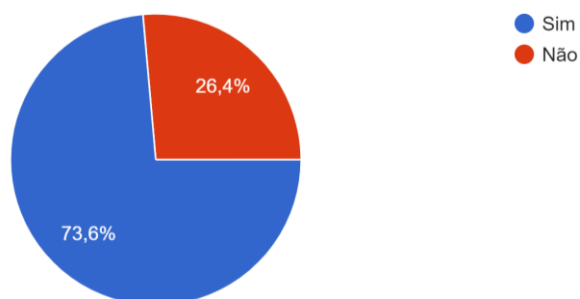


Figura 2: Gráfico representativo das respostas à pergunta: Você sente falta de um espaço onde as pessoas possam interagir livremente no *campus* Centro?

Esse resultado demonstra uma necessidade ainda maior de construção de um espaço de lazer no *campus* Centro. Tendo em vista a necessidade identificada, definiu-se que o projeto envolverá a construção de espaços de lazer e livre integração nos *campi*. Baseado no gráfico da figura 2, o *campus* Centro foi definido como prioritário para aplicação do projeto. Outros *campi* não foram analisados porque o projeto foi desenvolvido por alunos da escola de engenharia, os quais frequentam, majoritariamente, os *campi* acima citados.

Ao serem perguntados acerca de seu sentimento em relação à integração com a comunidade acadêmica em seu semestre de ingresso na UFRGS, a maior parte dos entrevistados respondeu ter sentido falta de uma socialização maior. Tal resultado pode ser comprovado pelo gráfico da figura 3, o qual representa as respostas para a pergunta: Você sentiu falta de uma integração maior entre os calouros e/ou entre os calouros e os veteranos quando você entrou na UFRGS?

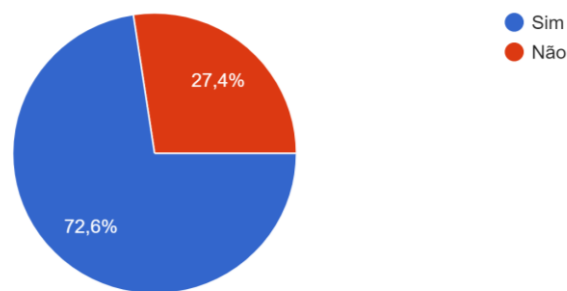


Figura 3: Gráfico representativo das respostas à pergunta: Você sentiu falta de uma integração maior entre os calouros e/ou entre os calouros e os veteranos quando você entrou na UFRGS?

Baseando-se nessas respostas, definiu-se que o projeto teria como um dos objetivos uma maior integração entre os calouros e o restante da comunidade acadêmica. Decidiu-se utilizar a tradição do trote a favor desse objetivo. Foi proposto um tipo de trote diferente, no qual os calouros seriam instigados a arrecadar materiais recicláveis e utilizá-los para construir um espaço de lazer sustentável nos *campi* da UFRGS. Para validar tal proposta, questionou-se quanto à participação em um trote que deixasse um legado para a universidade. As respostas podem ser observadas na figura 4.

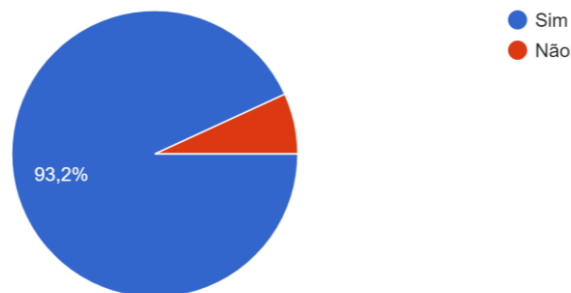


Figura 4: Gráfico representativo das respostas à pergunta: Você participaria de um trote que deixasse um legado a ser utilizado pela comunidade acadêmica?

Com uma análise das respostas foi possível observar que a grande maioria dos estudantes estariam interessados em participar demonstrando assim a importância do projeto em universidades, com esses dados se inicia a estrutura do projeto, que precisa ser um trote que promova a integração e que trate de modo sustentável, sendo de início realizado na escola de engenharia da UFRGS, contudo com mais pesquisas em outras universidades poderá ter a chance de ser colocado nas demais. O legado deixado na universidade será causado devido a arrecadação de materiais reaproveitáveis para ajudar na construção do ambiente e a participação na edificação do local.

Além disso, todo esse processo será um bom momento para incentivar a integração entre calouros. Para gerar maior engajamento, decidiu-se que os calouros serão divididos em grupos, e o grupo que arrecadar mais materiais, e colaborar mais com a construção será declarado vencedor e será premiado.

Resultados e Discussões - pesquisa bibliográfica dos produtos que estarão no ambiente:

Com o objetivo de construir um espaço de relaxamento e lazer para a comunidade acadêmica que busque também uma melhoria nos problemas relacionados ao descarte incorreto de resíduos, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para encontrar objetos que possam ser construídos de resíduos sólidos e foi discutido os impactos que poderiam gerar. Dentre eles um exemplo são os joguinhos construídos com caixas, prendedores e palitos reutilizados, esse objeto poderá ser utilizado em um momento de descontração, e é ilustrado na figura 5.

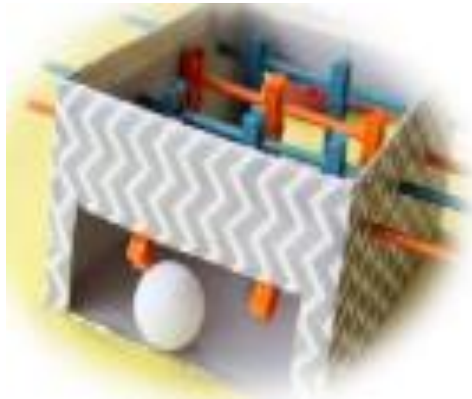


Figura 5: Pebolim de materiais reciclados. Fonte: JASMINE, 2014.

Outro exemplo são pufes de garrafas pet, pois se descartados de forma inadequada são, segundo Haigert (2009), “um dos responsáveis pelos entupimentos de bueiros e pelo alagamento de algumas vias das cidades em dias de chuvas”. Assim, buscando uma diminuição nesse problema serão feitos os pufes e os estudantes poderão usar para sentar e conversar ou estudar.

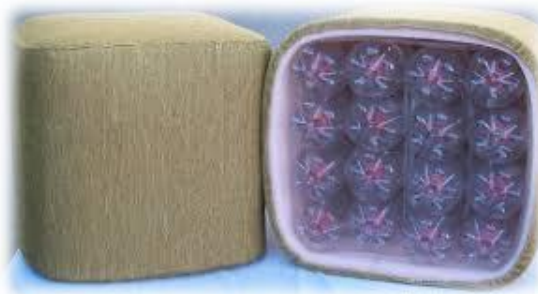


Figura 6: Pufs de garrafas pet. Fonte: CONSTRUINDODECOR, 2021.

Será elaborada também, uma mesa para estudos, que será construída com canos de PVC e madeiras reutilizadas, tem como objetivo diminuir impactos gerados pela indústria madeireira no Brasil, que além de trazer impacto ambiental relacionado a extração de madeira ela traz consigo problemas no destino final de seus resíduos (MATOS,2018). Ademais, será útil para quando os alunos precisarem de um espaço alternativo para estudar ou até mesmo se alimentar.



Figura 7: Mesa de materiais reciclados. Fonte: AMADORI, 2016.

Poderão ser construídos também balanços com pneus, visto que segundo Coelho (2014) “A produção brasileira de pneus é de 40 milhões de pneus por ano e quase metade dessa produção é descartada nesse período de forma inadequada” e se eles forem jogados em lixões, aterros, lagos, rios ou córregos causarão impactos negativos como contaminação do solo, enchentes e doenças (SOUZA,2009). Ademais cabe ressaltar que os balanços poderão ser aproveitados em momentos de relaxamento e descontração dos alunos.



Figura 8: Balanço feito com pneu. Fonte: VARANIS, 2021.

Outro exemplo é um ambiente feito com paletes, já que o Brasil descarta cerca de 3 milhões de paletes ao ano e após o término da vida útil dele as empresas se deparam com o problema de não

conseguir dar uma destinação adequada (CAMPOS,2021) . Além do mais, poderá ser utilizado em um momento de descanso ou de descontração. Pode ser visto um modelo na figura 9.



Figura 9: ambiente construído com pallets. Fonte: EMPRESADEZ, 2019.

Com esses objetos pesquisados e os possíveis problemas relacionados aos resíduos que serão reutilizados pode-se chegar ao resultado que o Trote pelo Amanhã trará impactos para o meio ambiente, além de trazer uma experiência de educação sustentável de reaproveitamento, passo este que ficará na mente dos estudantes e poderá trazer grandes benefícios futuros para a sociedade. Contudo, é importante pensar que o projeto não resolverá totalmente o problema devido a ser algo muito limitado (causa: espaço na faculdade, número de estudantes participando por semestre, entre outros), mas diminuirá.

Aliás, também cabe ressaltar que o trote estará aberto para mais propostas de criação de outros objetos que são feitos do reaproveitamento de resíduos, sendo aceitas ideias de calouros, veteranos, educadores e demais funcionários das universidades em que forem aplicadas, contudo dentro destas ideias terão que ser feito estudos para observar quais impactos poderão gerar se colocadas no sistema do trote.

Resultados e Discussões - organização prática

Para procurar um melhor desenvolvimento do projeto foi aberta uma discussão referente a como colocá-lo em prática dentro das instituições de ensino superior, para isso se organizou um modelo financeiro básico que tem o seguinte esquema: alunos arrecadam resíduos e doações para levarem até os líderes do projeto, aqueles que se mostrarem mais participativos nessa área receberão prêmios dados pela universidade. E para uma proposta de sequência de eventos (diagrama 1) de fato adequada ao trote se inicia na primeira semana do semestre com as divulgações, inscrições e separação de grupos (pois trabalhando assim trará melhorias na comunicação entre estudantes). Logo após (cerca de uma semana depois) se iniciará a arrecadação

que estará aberta para todo o semestre, em seguida acontecerá a parte construtiva, supõe-se cerca de duas semanas depois do início do semestre, contudo as datas serão organizadas de acordo com a disponibilidade dos participantes e os materiais arrecadados nesse tempo. Na última semana do semestre, o grupo vencedor será premiado e no início do semestre seguinte o espaço será inaugurado, o ambiente e um novo ciclo se iniciará, seguindo as mesmas etapas, contudo em outro *campus*. O projeto pode-se também futuramente ser aplicado em outras universidades com objetivo de trazer maior reaproveitamento de resíduos sólidos dentro das cidades brasileiras, e assim ajudaria a resolver diversos problemas que serão citados no artigo (dentro da área de resultados e discussões referentes a pesquisa bibliográfica).



Diagrama 1: Relacionado a sequência de eventos do Trote pelo Amanhã

Comentários finais

Diante disso nota-se que para ajudar a diminuir a quantidade de resíduos que acabam gerando, se forem descartados de maneira incorreta, grandes problemas para todo o sistema, o projeto Trote pelo Amanhã se mostra como uma solução plausível, por demonstrar através das pesquisas que os estudantes da universidade estão abertos para a realização dele e por trazer ideias de objetos de construção totalmente feitos do reaproveitamento de resíduos que trazem impactos ambientais para ajudar na realização do projeto.

Dentre os resultados esperados na aplicação dele, caso seja aplicado em diversas faculdades, pode-se citar uma diminuição em alagamentos (devido o uso de garrafas pets), ajudar a diminuir o problema relacionado a má destinação de resíduos provocado pela indústria madeireira, reduzir o descarte incorreto de pneus. Ademais cabe ressaltar que gerará maior integração entre calouros ou calouros e veteranos da universidade de uma maneira correta e que transmite ensinamentos, e devido a criação de um espaço dentro da instituição ajudará ela em seu desenvolvimento.

A maior adversidade para colocá-lo em prática, está no presente momento pandêmico causado pelo Coronavírus pois para arrecadar e construir precisará de contato físico, contudo assim que possível será realizado primeiro no *campus* Centro da UFRGS, mas com um foco em futuramente beneficiar todos os *campi* com o passar dos semestres e também pretende-se buscar outras

instituições de ensino que estejam interessadas no projeto para que assim tenha mais alcance, porém para aplicá-lo precisará ser feito um estudo com os estudantes desta outra faculdade para ver o interesse deles.

Algumas variáveis ainda devem ser estudadas como a natureza do prêmio oferecido ao grupo vencedor, pode-se pensar em objetos dados pela universidade ou transformar em um projeto de extensão sendo considerado como atividade extracurricular, e ainda sobre possíveis parceiros para uma arrecadação de materiais, como restaurantes a volta da faculdade que geram muitos resíduos ou até mesmo condomínios e apartamentos, qualquer ambiente que produz muitos resíduos. Ademais, para aprimoração do projeto buscam-se estratégias de divulgação para gerar maior engajamento e participação entre os alunos, como a criação de uma futura página em redes sociais como: Instagram ou Facebook, ou também com ajuda de divulgadores para o projeto. O trote estudantil pode também, futuramente, virar uma atividade empreendedora fazendo negócios vendendo os objetos construídos pelos alunos, mas ainda tem alguns fatores que precisam ser estudados.

Por fim, é importante atentar que o projeto trará melhorias para o tratamento de resíduos dentro da sociedade, contudo não irá resolver todos os problemas relacionados a eles pois estará conectado somente aos alunos das universidades que participarem e possíveis parceiros, também somente aos materiais necessários para a realização dele. Além do mais é ressaltado que os calouros não serão obrigados a participarem desta ação porque será feita por livre arbítrio então devido a isso o impacto dela no meio estudantil não pode ser calculado ainda.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de demonstrar gratidão primeiramente à equipe de mentores que auxiliaram na criação do projeto estando sempre dispostos a ensinar e ajudar, dentre eles Simone Ramires, Camila Simonetti, Mariana Brandão e Fabiano Gasparin. Deixando em especial Simone por apresentar o Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis onde o presente artigo está inscrito e também ao professor Fabiano por ajudar com seu conhecimento na área. Também agradecer ao Projeto de Acolhimentos de Calouros da Escola de Engenharias da UFRGS feito pelo núcleo de ações discentes por propor a iniciativa de trazer desenvolvimento sustentável às universidades, incentivando os autores a criarem o Trote pelo Amanhã.

Referências Bibliográficas

Amadori, K.; 2016.Pinterest; Disponível em: <https://co.pinterest.com/pin/807129564455488984/>

Calvis, L. O.; & da Silva, W. G.;2020. CRESCIMENTO URBANO E PRODUÇÃO DE LIXO E RESÍDUO NA CIDADE DE CAMPO GRANDE (MS). GEOFRONTER, v.6, n.1,p.2

Casagrande, M. C.; Sartor, M. N.;Gomes, V.; Della, V. P.; Hotza, D.; & OLIVEIRA, A. D.; 2008. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. Cerâmica Industrial, v. 13(1/2), p.1.

Construindodecor;2014; Puff de garrafa pet - Dica de decoração aliada à reciclagem; Disponível em: <https://construindodecor.com.br/puff-de-garrafa-pet/##forward>

de Andrade, R.; & Ferreira, J.; 2011. A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL FRENTE ÀS QUESTÕES DA GLOBALIZAÇÃO. REDE - Revista Eletrônica Do PRODEMA, v. 6(1), p. 7-22 Recuperado de <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/118>

De Menezes, D. C.; & Dapper, D.; 2013. Percepção dos consumidores sobre programa de descarte de resíduos recicláveis em redes supermercadistas de Porto Alegre. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v.2, n.2, p.167

Empresa Dez; 2019. Como ganhar Dinheiro com Móveis de Pallet. Disponível em: <http://empresadez.com.br/como-ganhar-dinheiro-com-moveis-de-pallet/>

Freitas, C.; 2013. Em trote,calouros são obrigados a segurar a cabeça de porco no RS. G1 disponível em: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/03/em-trote-calouros-sao-obrigados-segurar-cabeca-de-porco-no-rs-veja.html>

Hagert, F. C.; 2009. Alternativas para reduzir os impactos socioambientais do descarte de garrafas PET. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, escola de administração, Programa de pós-graduação em administração,p.3

Jasmine; 2014.Mini Pebolim Feito de Caixa de Sapato – Passo a Passo. Bigtudoartesanato. Disponível em: <https://bigtudoartesanato.com.br/mini-pebolim-feito-de-caixa-de-sapato-passo-passo/>

Júnior, M. A. F.; Raymundo, T. M. R. D. Á.; Pacini, G. S.; Hanemann, T.; Coelho, F. L.; de Mattos, M. O. T.; & Rosa, R. F. M.;2018. “Careca Amiga”: uma nova perspectiva de trote na universidade. Revista Brasileira de Extensão Universitária,v.9, n.1,p. 2.

Matos, F. A.; & Soares, E.; 2018. Música e design de produtos: construção de materiais sonoros a partir de resíduos de madeira da região amazônica. In XXVIII Congresso da ANPPOM-Manaus/AM.p.2

Rodrigues, C. R. P.; & Menti, M.M.; 2016. Resíduos sólidos: gerenciamento e políticas públicas federais. Caderno do Programa de Pós-graduação em direito UFRGS, v.11, p.62

Siqueira, M. M.; & Moraes, M. S. D.; 2009. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. Ciência & Saúde Coletiva, v. 14, p. 2115-2122.

Souza, R. T.; 2009. Análise da logística reversa de pneus usados e inservíveis e seus impactos ambientais quando descartados inadequadamente. Monografia-Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, p.11

Varanis, C.; 2021.Balço de pneu Tam M. Pinterest; Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/810507264158330569/>

Vegini, N. M. K.; Ramos, F. R. S.; & Finkler, M.; 2019. Representações sociais do trote universitário: uma reflexão ética necessária. *Texto & Contexto-Enfermagem*, v. 28.

Vilani, T.; 2015. No trote, bixos da UFRGS são “obrigados” a contar histórias a crianças. GZH Porto Alegre disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2015/03/no-trote-bixos-da-ufrgs-sao-obrigados-a-contar-historias-a-criancas-4720259.html>

Zago, V. C. P.; & Barros, R. T. D. V.; 2019. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. *Eng. sanit. ambient*, p.219-228.

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE PROJETOS COM UTILIZAÇÃO DO CAP ECOFLEX B EM RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL

| ID 18820 |

1Ener Cordeiro Miranda Filho, 2Rodrigo Lopes Veiga, 3Gabriella Faina Garcia, 4Paulo Roberto Garcia

1Faculdade Pitágoras de Uberlândia, e-mail: ener.filho@hotmail.com; 2Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: rodrigolveiga@hotmail.com; 3Universidade Federal de São Carlos, e-mail: gabifgarcia@gmail.com; 4Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: paulo.garcia@uftm.edu.br

Palavras-chave: Asfalto borracha; Pavimentação; Sustentabilidade.

Resumo

A vasta quantidade de pneus inservíveis dispostos em locais inapropriados reflete o desinteresse pelo meio ambiente e a incapacidade de resolver a questão por meio da reciclagem ou aproveitamento desse material para outros fins em prol da sustentabilidade. Entretanto, a tecnologia proporciona uma solução excelente para a questão, inserindo a borracha advinda desses pneus em ligantes asfálticos, visando amenizar a poluição ambiental e resolver a questão da demanda de pavimentação, tanto para novas rodovias quanto para a recapeamento da malha rodoviária desgastada. O objetivo desse trabalho é mostrar os benefícios de se utilizar borracha de pneus na pavimentação, sendo esta tecnologia viável para o interesse da sociedade. Na metodologia, para realizar o estudo comparativo entre o asfalto borracha (CAP Ecoflex B 3G) e o asfalto convencional (CAP 30/45), foram realizados os ensaios a seguir: método Marshall, penetração, ponto de fulgor, ponto de amolecimento (método do anel e bola), recuperação elástica, viscosidade Saybolt-furol e viscosidade aparente (Brookfield). Nos resultados, o CAP Ecoflex B 3G mostrou maior efetividade em relação ao asfalto convencional. Após a realização dos ensaios, observou-se que o asfalto borracha pode sim ser uma alternativa satisfatória, sendo possível aumentar os níveis de qualidade do pavimento, apresentar maior vida útil e influenciar diretamente nos custos de transporte nacional, resultando na diminuição das despesas com manutenção.

Introdução

A preocupação com o meio ambiente está diretamente relacionada ao crescimento populacional e à industrialização mundial. É neste contexto que muito se fala em buscar alternativas sustentáveis para suprir as necessidades atuais sem comprometer o desenvolvimento das futuras gerações.

A construção civil se caracteriza pela modificação da paisagem e pelo consumo de recursos naturais renováveis e não renováveis, levando à geração de resíduos sólidos e a emissões de gases na atmosfera, causando impactos ao meio ambiente, à qualidade de vida da população e à infraestrutura existente (DI GIULIO, 2007).

Para solucionar os problemas deste excesso de emissão de gases na atmosfera e na geração de resíduos sólidos, é necessária a busca por possibilidades de reciclagem com a reutilização destes resíduos.

Sendo assim, como alternativa sustentável, destaca-se o uso de borracha de pneus inservíveis adicionados à modificação de asfalto para execução de pavimentos, por apresentar características técnicas superiores, por ser ambientalmente correto e por reduzir a utilização de petróleo. Assim, o objetivo desse trabalho é mostrar os interesses de se utilizar borracha de pneus na pavimentação.

Revisão da literatura

O CAP ECOflex B é um asfalto alterado com a inserção de borracha moída provenientes de pneus. Trata-se de uma forma nobre de dar destino aos pneus inservíveis. Além de resolver um grande problema ambiental, o uso de borracha moída de pneus no asfalto melhora as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico (PETROBRAS, 2009).

A utilização dos pneus inservíveis no processo de produção do ECOflex se inicia através da trituração e da moagem dos mesmos, no qual ocorre a separação do nylon e do aço, uma vez que somente a borracha em pó é adicionada ao asfalto (SOARES; ASSIS; 2011). Outra maneira de se obter borracha granulada é o reaproveitamento da raspa proveniente da preparação dos pneumáticos para recauchutagem (SOARES; ASSIS, 2011).

Segundo Soares e Assis (2011), no processo úmido, a borracha é previamente misturada ao asfalto, na proporção de 18 a 25% antes do asfalto ser misturado com o agregado, modificando-o permanentemente e melhorando as propriedades do ligante asfáltico, como por exemplo, o aumento da viscosidade. Neste processo ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original.

Conforme Silva (2007 apud RAMALHO, 2009), as principais características do ECOflex B são a diminuição da suscetibilidade térmica, o aumento da flexibilidade devido à maior concentração de elastômeros na borracha de pneus, a melhor adesividade aos agregados, a maior resistência ao envelhecimento, pois a presença de antioxidantes e carbono na borracha de pneus auxilia na diminuição do envelhecimento por oxidação e a maior resistência à propagação de trincas e à formação de trilhas de roda.

Segundo Pereira (2011), ao adicionar polímeros ao ECOflex B é produzida uma mistura mais complexa, em razão da alta massa molecular do polímero. Sendo assim, a tentativa de formar um sistema homogêneo pode gerar diversas reações moleculares e, por esta razão, deve-se observar muito bem a proporção correta do polímero. Na literatura, menciona-se que outra desvantagem referente ao asfalto borracha, é que a adição de qualquer tipo de produto, resíduo ou aditivo, irá aumentar o custo do ligante asfáltico e, como consequência, da mistura asfáltica.

Procedimentos metodológicos

Para realizar o estudo comparativo entre o asfalto borracha (CAP Ecoflex b 3G) e o asfalto convencional (CAP 30/45), foram realizados os ensaios a seguir: Método Marshall, penetração, ponto de fulgor, ponto de amolecimento (método do anel e bola), recuperação elástica, viscosidade Saybolt-furol e viscosidade aparente (Brookfield).

Método Marshall

Esse método fixa o modo pelo qual se determina a estabilidade e a fluência de misturas asfálticas usinadas a quente, utilizando o aparelho Marshall.

Consiste em estabelecer uma composição granulométrica de agregados que se enquadre em uma faixa especificada. Em seguida, procura-se determinar a quantidade de ligante asfáltico que, misturado ao agregado, proporcione uma boa mistura, satisfazendo os requisitos das especificações. Na Tabela 1 abaixo são mostradas as características da mistura asfáltica de ambas as amostras.

Tabela 1: Características da Mistura asfáltica CAP 30/45 e CAP Ecoflex B 3G

	CAP 30/45	CAP Ecoflex B 3G
Volume de Vazios (VV)	4,30%	4,50%
Relação Betume Vazios (RBV)	71,00%	72,90%
Vazios do Agregado Mineral (VAM)	16,70%	16,70%
Densidade Aparente (d) Kg/m ³	2,550	2,513
Densidade Teórica	2,665	2,647
Estabilidade (Kgf)	1071	1071
Fluência (mm)	3,2	3,2

Penetração

A consistência de um ligante asfáltico no estado semissólido é medida pelo ensaio de penetração, que consiste em determinar a profundidade, em décimos de milímetro, que uma agulha padronizada penetra verticalmente, durante cinco segundos, em uma amostra de ligante asfáltico à temperatura de 25 °C. A massa total atuante na agulha é de 100 g. O ensaio foi realizado no laboratório da Universidade Federal do Triângulo Mineiro para a mistura utilizando CAP 30/45 e CAP Ecoflex B 3G. A consistência do CAP é tanto maior quanto menor for o valor da penetração da agulha na amostra.

Valores de penetração abaixo de 15 (0,1 mm) estão associados a ligantes asfálticos envelhecidos e quebradiços (PINTO; PINTO; 2015). É estabelecido pela Norma Brasileira NBR-6576, sendo o equipamento utilizado, mostrado na Figura 1.



Figura 1: Penetrômetro Analógico.

Ponto de Fulgor

É a menor temperatura na qual os vapores emanados durante o aquecimento do material betuminoso se inflamam quando, sobre eles, é passado uma chama sob determinadas condições. Tem por finalidade evitar acidentes de trabalho. Os CAPs com elevado ponto de fulgor têm elevada durabilidade. Sua contaminação com o asfalto diluído diminui sensivelmente a temperatura de inflamação do CAP e se reflete também na aptidão à compactação da mistura asfáltica (PINTO; PINTO; 2015).

O ensaio é regido pela Norma Brasileira NBR-11341 e foi realizado no laboratório da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. O equipamento adotado é o chamado Vaso aberto de Cleveland, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2: Vaso aberto de Cleveland.

Ponto de Amolecimento (Método do Anel e Bola)

Conforme mencionado na norma da Prefeitura do Recife (2003), o método do anel e bola trata-se do procedimento a ser adotado para determinação do ponto de amolecimento de ligantes asfálticos em temperaturas variáveis entre 30 e 175 °C.

O princípio básico deste ensaio consiste em anotar a temperatura na qual uma pequena esfera de 3/8" de diâmetro (9,53mm) e cerca de 3,5 g empurra para baixo uma amostra contida em um anel de diâmetro de 5/8" (15,88 mm) e 1/4" (6,35 mm) de altura e percorre uma distância de 1 polegada (25,4 mm). O conjunto é aquecido em um recipiente com água, a partir de uma temperatura inicial de 5 °C, com uma velocidade de aquecimento de cerca de 5 °C por minuto. Assim, a temperatura da água no final do ensaio traduz a temperatura do ponto de amolecimento. Pode-se concluir, que quanto maior for a temperatura, mais resistente à deformação será o ligante asfáltico analisado (PINTO; PINTO, 2015).

O ensaio é regido pela Norma Brasileira NBR-6560 e foi realizado no laboratório de uma empresa da região de Uberaba. O modelo de analisador utilizado foi o HRB 754, conforme apresentado na Figura 3.



Figura 3: Analisador de ponto de amolecimento modelo HRB 754.

Recuperação elástica

É um ensaio que submete uma amostra de ligante asfáltico à uma tração mecânica especificada, tendo como cacidade de retorno do ECOflex B, após um intervalo de tempo. É uma forma conveniente de identificar a presença de polímero modificador em um ligante e garantir o atendimento à especificação vigente.

A recuperação elástica é medida por meio de um ductilômetro, apresentado na Figura 4, e regido pela Norma Brasileira NBR-15086. O ensaio foi realizado no laboratório de uma empresa da região de Uberaba.

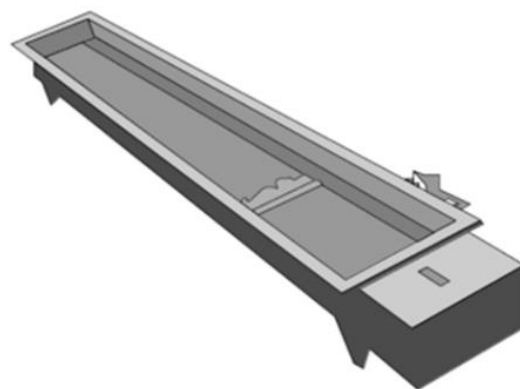


Figura 4: Ductilômetro.

A Figura 6 apresenta a relação temperatura × viscosidade ($T \times VSSF$), de ligantes asfálticos verificada nos ensaios laboratoriais.

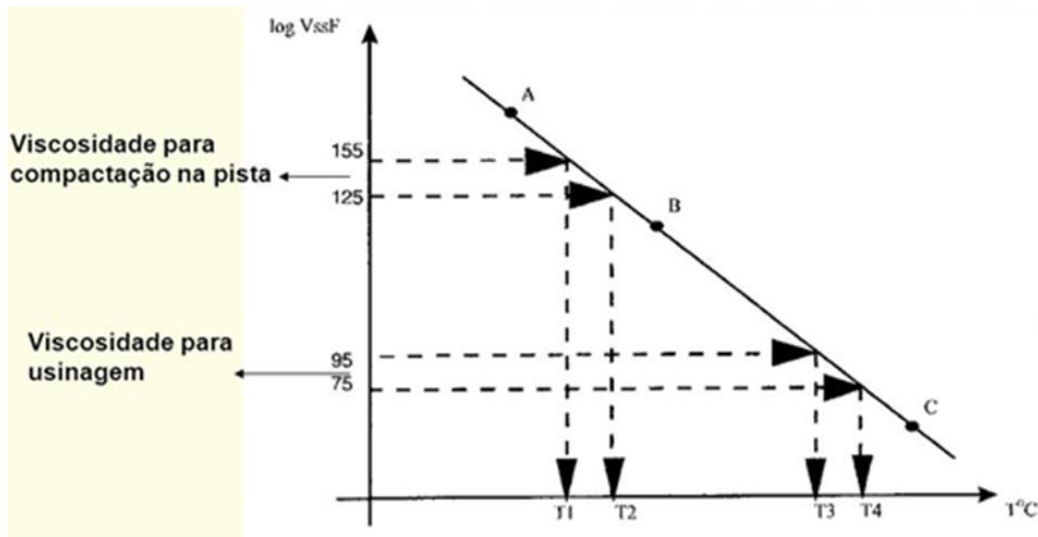


Figura 6: Relação temperatura × viscosidade.

A temperatura ideal de aquecimento do CAP para a confecção de um ligante asfáltico corresponde a uma viscosidade do CAP de 85 ± 10 segundos preconizada em especificação. Assim, para os valores de 75 e 95, é determinada a faixa de aquecimento do ligante (T3 a T4). Com a viscosidade de 140 ± 15 segundos, obtém-se, da mesma forma, os valores T1 e T2, que definem o intervalo de temperatura para a compactação da mistura asfáltica (PINTO; PINTO, 2015).

Viscosidade Aparente (Brookfield)

O ensaio (ASTM D4402, 1995) para determinar a viscosidade aparente de ligantes asfálticos utiliza um viscosímetro rotacional (Brookfield), que mede a viscosidade através do torque necessário para rodar uma haste (spindle) imersa na amostra de asfalto quente, a uma velocidade constante. O viscosímetro rotacional, geralmente, caracteriza a rigidez do asfalto a $135 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura em que o material se comporta quase que inteiramente como um fluido viscoso. Para o ensaio do asfalto borracha, CAP Ecoflex B 3G, foram utilizadas temperaturas mais elevadas, $175 \text{ }^\circ\text{C}$, adotadas pela (ASTM D6114, 1997). A viscosidade do ligante é usada para garantir um asfalto fluido o suficiente para ser bombeado e misturado com o agregado.

O ensaio é regido pela Norma Brasileira NBR-15529 e foi realizado no laboratório de uma empresa da região de Uberaba. O modelo de viscosímetro rotacional é apresentado na Figura 7.



Figura 7: Viscosímetro Rotacional Brookfield.

Resultados e discussão

O método Marshall foi realizado com a finalidade de dosar as misturas, estabelecendo uma composição granulométrica de agregados que se enquadrasse em uma faixa especificada, além de determinar a quantidade de ligante asfáltico que, misturado ao agregado, proporcionasse uma boa mistura satisfazendo os requisitos das especificações.

A partir dos resultados obtidos são modelados os gráficos correspondentes de densidade aparente, estabilidade, relação betume-vazios, volume de vazios, fluência e vazios do agregado mineral em função da porcentagem de ECOflex B, representados nas Figuras 8 e 9.

A partir do ensaio de penetração, concluiu-se que a adição de borracha torna o ligante mais viscoso, resultando em valores mais baixos de penetração. Essa consistência está relacionada com a capacidade de deformação do material. De modo geral, polímeros do tipo elastômero aumentam elasticidade e a flexibilidade dos pavimentos.

Em relação ao ensaio de ponto de fulgor, a temperatura mais alta obtida na amostra de CAP ECOflex B 3G somente evidencia a presença de borracha no revestimento asfáltico, sendo apenas um parâmetro de aplicação.

Quanto ao ensaio de ponto de amolecimento, verificou-se que a incorporação da borracha aumentou a temperatura de ponto de amolecimento em relação ao asfalto convencional, tendendo a ter uma maior resistência à deformação permanente, apresentando maior durabilidade.

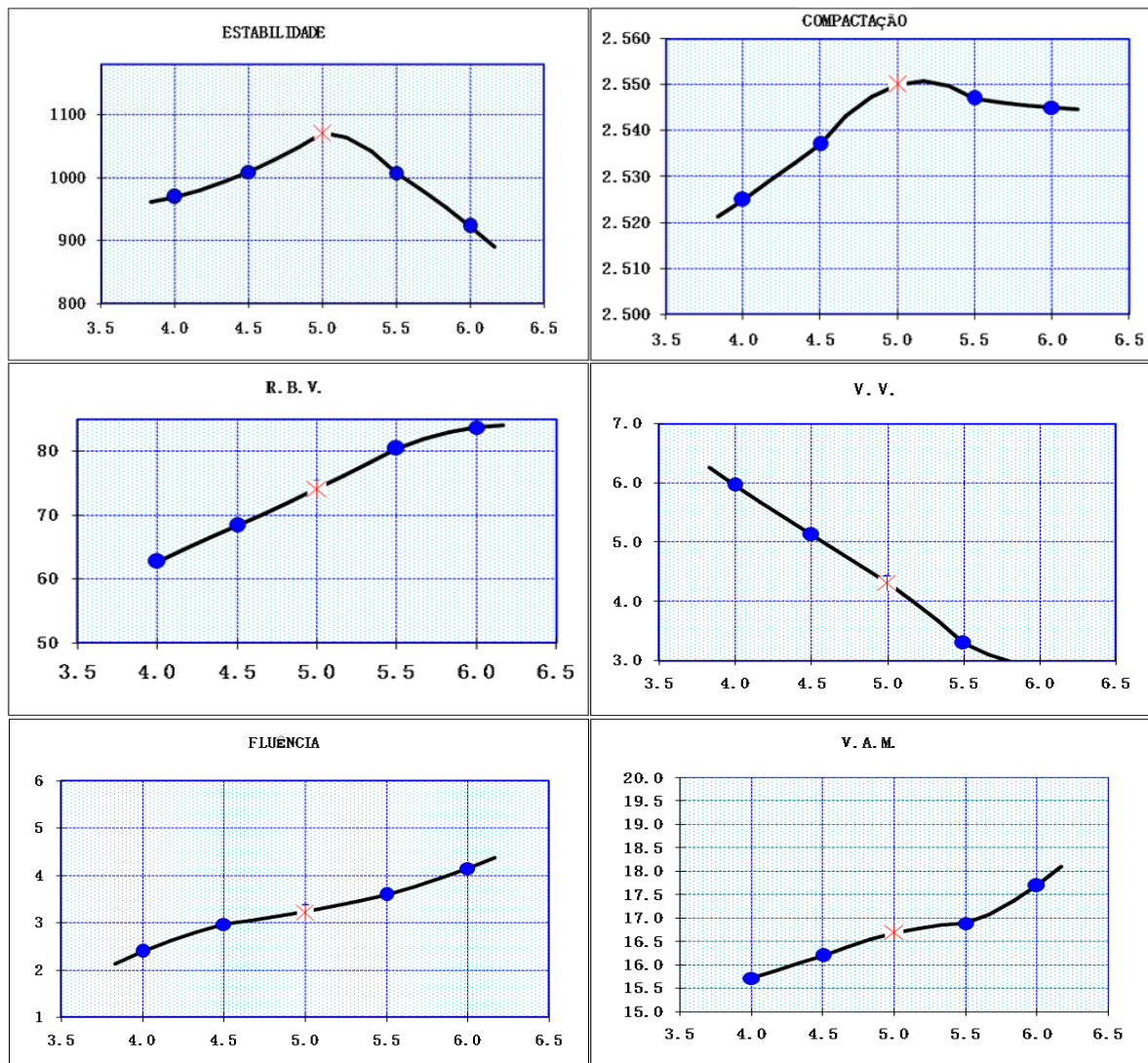


Figura 8: Curvas dos parâmetros determinados na dosagem Marshall do CAP 30/45.

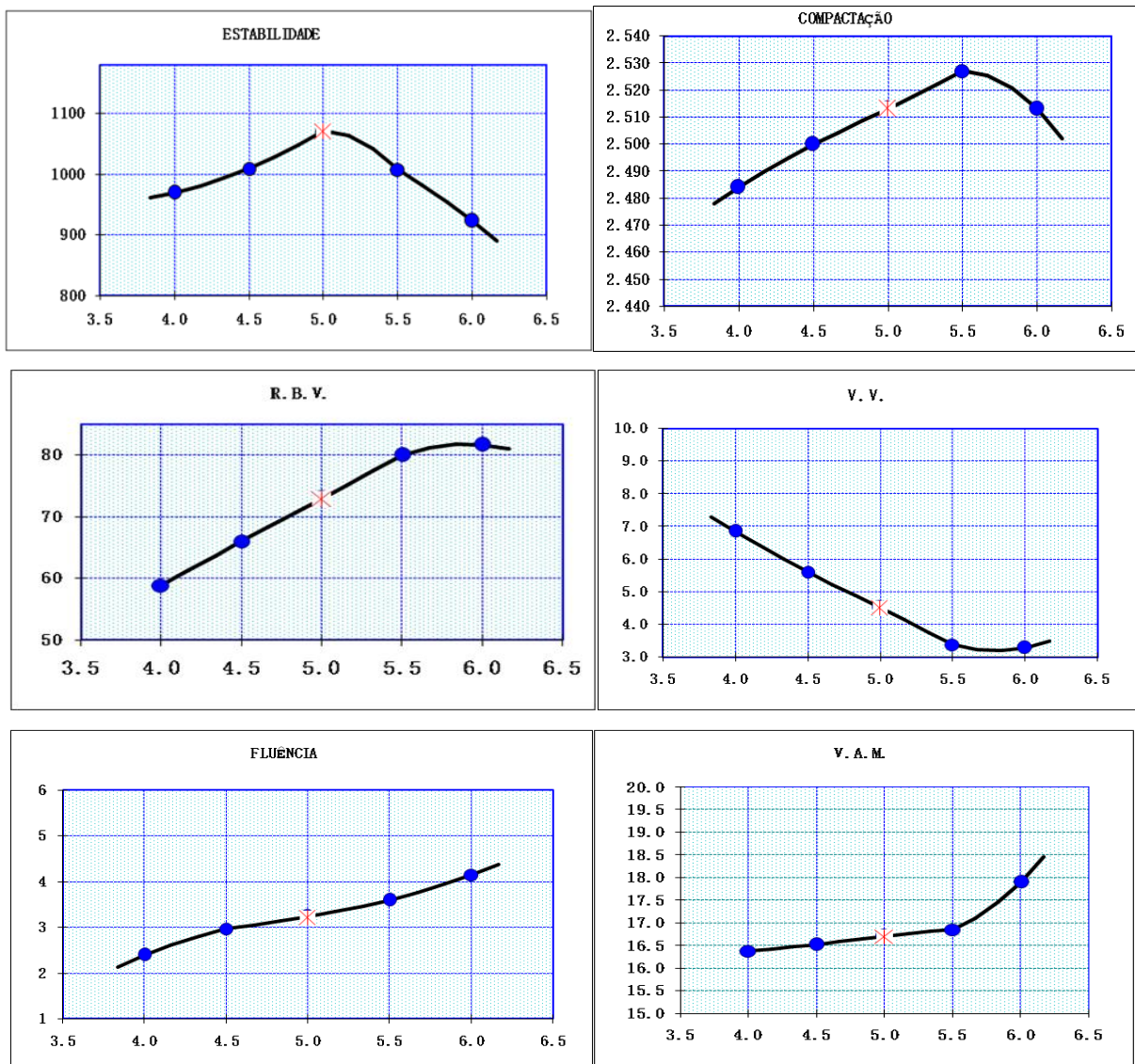


Figura 9: Curvas dos parâmetros determinados na dosagem Marshall do CAP Ecoflex B.

A maior recuperação elástica verificada na amostra de CAP Ecoflex B 3G assegura a pavimentação asfáltica uma melhoria na resistência a deformações permanentes, além de prevenir contra formação de trincas, pois o asfalto, mais elástico, trabalha conforme as solicitações provenientes do tráfego e da temperatura. Quanto aos ensaios de viscosidade, concluiu-se que o CAP Ecoflex B 3G é muito mais viscoso do que o CAP 30/45. Entretanto, não se trata de parâmetro de comparação, sendo apenas um parâmetro de legalidade para a aplicação dos diferentes tipos de CAP. A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios realizados, com as amostras de CAP 30/45 e CAP Ecoflex B 3G.

Tabela 2: Resultados dos ensaios realizados do CAP 30/45 e CAP Ecoflex B 3G

Ensaio	Especificação do CAP 30/45	Especificação do CAP Ecoflex B 3G	Resultados Do CAP 30/45	Resultados Do CAP Ecoflex B 3G
Penetração a 25°C, 100g, 5s, 0.1 mm.	30 - 45	30 - 45	40	32
Ponto de fulgor, ° C	Mínimo 235	Mínimo 235	235	>240
Ponto de amolecimento, ° C	Mínimo 50	Mínimo 50	52	61
Recuperação Elástica	-	-	3	74
Viscosidade Saybolt-Furol, 177°C, min.	76-285	76-285	186	1320

Conclusões

Por meio do trabalho apresentado, pôde-se conhecer um pouco da técnica do ECOflex B (asfalto borracha) sendo este produto resultante da utilização da borracha advinda dos pneus inservíveis, que são posteriormente incorporados às misturas asfálticas que se destinam à pavimentação.

Por intermédio das informações apresentadas, pode-se concluir que o surgimento do asfalto borracha decorreu da preocupação quanto a dois problemas que afetam a sociedade: a vasta quantidade de pneus inservíveis que poluem o meio ambiente e a busca por um produto capaz de propiciar maior qualidade e durabilidade aos pavimentos. Este tipo de asfalto correspondeu tão bem às expectativas que é utilizado em diversos países, como Canadá, Portugal, Austrália e Estados Unidos, onde inúmeras técnicas têm sido estudadas e aplicadas desde 1960, principalmente nos estados da Flórida, Califórnia e Arizona.

Observa-se que o asfalto borracha é bastante satisfatório nos resultados de aplicação, aumentando os níveis de qualidade do pavimento, apresenta maior vida útil, influenciando diretamente nos custos de transporte nacional, resultando na diminuição das despesas com manutenção. De fato, as vantagens são inúmeras, tornando-o uma excelente opção de aplicação em pavimentos frente ao asfalto convencional.

Tantas vantagens resultaram em uma ampla adoção do asfalto borracha, em novos pavimentos, recapeamentos e tratamentos superficiais. Existem no Brasil diversas obras concluídas que utilizaram o asfalto borracha, sendo suas perspectivas futuras são excelentes.

Referências

ASTM D4402. Standard test method for viscosity determinations of unfilled asphalts using brookfield thermosel apparatus. Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 1995.

ASTM D6114. Standard specifications for asphalt-rubber binder. American Society for Testing and Materials, 1997.

BRASIL. Prefeitura do Recife. Métodos de ensaio: determinação do ponto de amolecimento de materiais betuminosos (método do anel e bola). 2003

DI GIULIO, Gabriela; 2007. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto. Inovação Uniemp, v.3 n.3 – Campinas.

DNIT, 2003. TER 005 (Defeitos nos pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Terminologia). Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/, acessado em 04 de maio de 2021.

GARCIA, Paulo Roberto; 2018. Notas de aulas da disciplina Estradas II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro.

PEREIRA, Márcia de Andrade; 2013. LENDZION, Eloá. Apostila de sistema de transportes. Curitiba.

PEREIRA, P. Unidas pela pesquisa. 2011. Disponível em: <http://revistaensinosuperior.uol.com.br/textos.asp?codigo=11984> Acesso em: 04 de maio de 2021.

PETROBRAS; 2009. Asfalto borracha.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo; 2015. Pavimentação asfáltica: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto; 2002. Pavimentação Rodoviária: Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis. 2. ed. Rio de Janeiro.

RAMALHO, Antônio Vinicius Figueredo; 2009. Uma análise dos benefícios com a utilização do asfalto borracha nas rodovias do Brasil. 2009. 77f. Monografia (Graduação). Curso de tecnologia em Logística com ênfase em transporte. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste. São Paulo.

SOARES, R. A.; ASSIS, E. M. de; 2011. O uso de borracha de pneus na pavimentação como uma alternativa ecologicamente viável.

STRATURA ASFALTOS. Disponível em: <http://www.stratura.com.br/produto/cap-cimento-asfaltico-de-petroleo/5> Acesso em: 09 de maio de 2021.

EVALUATION OF THE POTENTIAL OF THE USE OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE (CDW) IN THE PRODUCTION OF SOILS FOR THE RECOVERY OF DEGRADED AREAS BY MINING

| ID 18833 |

1Rogério Pires Santos, 2Rejane Tubino, 3Ivanete Bueno Cardozo Santos

¹Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul – IFSUL, e-mail: rogerio.santos@camaqua.ifsul.edu.br, ²Federal University of Rio Grande do Sul – UFRGS/ PPGE3M, e-mail:rejane.tubino@gmail.com; ³Luterana University of Brazil-ULBRA, e-mail: ivanetebueno@gmail.com

Palavras-chave: soil recovery; mining; degraded areas; construction and demolition waste.

Abstract

O The evolution of modern civilization brings with it a series of challenges regarding the management of its waste. Proper disposal of construction and demolition waste (CDW) has become a challenge across the planet. Parallel to this challenge, another one emerges: recovering areas degraded by mining. The objective of this paper was to characterize, through X-ray Fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD), CDW samples collected during the period from October 2018 to October 2019 in a recycling centre and determine its potential as an element in production of recovering soils of areas degraded by mining. Calcite and quartz were found, in addition to trace elements such as Fe, Mg, Mn, Cu, Zn, Ni, essential elements for plant nutrition, capable of restoring the chemical and physical conditions of soils. The results obtained showed that the elements Chromium (Cr) and Barium (Ba) were above the limits established by CONAMA Resolution 420/2009 (Brazil), whereas according to Order AAA / 661/2013 (Spain), all elements found were above the limits allowed for that country. The presence of heavy metals is considered normal in Brazilian soils, some of which are considered essential micronutrients. The results provide data to affirm that the CDW are suitable for use in soil production for the purpose of recovering areas degraded by mining, by applying tests on a larger scale and with a soil-water-plant interface.

Introduction

Brazilian National Solid Waste Policy - Federal Law No. 12,305 / 2010 (BRASIL, 2010) establishes the appropriate hierarchy in the integrated management of solid waste: non-generation, reuse, recycling, treatment and proper final disposal. Similarly, Resolution 307/2002 (BRASIL, 2002) of the National Environment Council (CONAMA) establishes guidelines, classification criteria and procedures for the management of construction waste in the country.

In Brazil, 7,192,372.71 tonnes of construction waste are generated annually by the public sector and 7,365,566.51 tonnes by the private sector (IPEA, 2012), which can cause numerous environmental impacts negative, if not properly managed.

In more developed countries, CDW also generates problems, making management and final disposal difficult, given the associated environmental liabilities (CALVO, 2017; SUÁREZ-SILGADO et al, 2018; MENEGAKI & DAMIGOS, 2018). For example in Spain, which in 2012 generated 26 million tons of CDW, considering that they represented 20% of the total waste generated by that country, being the sixth in the ranking of generators in the European Union (FERNANDEZ-NARANJO et al, 2016).

In Brazil, the generation of CDW reaches 50% of the total waste generated in large urban centres (LASSO, 2011).

Thus, there is a need to seek technical and viable solutions, from an economic point of view, for adequate integrated management of construction waste, with the least possible environmental impact. In Brazil, generators are legally responsible for the correct handling and management.

In parallel, in another production chain, the mining one, there is a need to recover degraded areas, especially in the open air, such as clay mining for ceramics and extraction of coal. What happens is that it is necessary to consider that the use of produced soils, in the recovery of degraded areas, favours environmental conservation by reducing the use of loan areas associated with the recycling of CDW, reducing the negative environmental impacts of their disposal in landfills.

It is noteworthy that although the CDW classified as “class A” by CONAMA is considered as inert waste, Oliveira (2002) concluded that concrete waste is “non-inert”, when subjected to acid rainwater. The author concluded that ions from the decomposition of these residues can contribute to the contamination of water courses, changing their natural conditions.

In the same vein, several researchers warn that in the disposal or use of CDW in soil, there is a prior need for study and analysis of the toxic potential of these residues, because while characterizing them, the authors found toxic elements (SCHAEFER et al, 2007; TOWNSEND et al, 2004; RAMALHO & PIRES, 2009; FILIZOLA et al, 2006, FERNADEZ-NARANJO et al, 2016). Thus, it is

necessary to test the toxicity of residues by means of physical-chemical techniques and using bioindicators.

Internationally, CDW also represents a problem for integrated waste management because they are formed in high volumes, a problem that is worsened in countries where the reduced territorial extension and, consequently, the production of natural resources, aggravates the need for reuse and recycling.

The generation of CDW in the European Union (EU) presents significant differences between its member states. The total waste generated for the year 2014 was 2.5 million tons, with the percentage of CDW being high (Luxembourg: 85%, Malta: 75%, Holland, Germany, Denmark and the United Kingdom: 68, 53, and 48% respectively). The recycling rate for this waste in 2014 was 88%, considering 28 EU countries. In the rest of the countries on the European continent it was 12%, with the CDW destined to landfills (SÚAREZ-SILGADO et al, 2018).

According to Suárez-Silgado et al (2018), the most developed countries had a very high rate of recycling of CDW: Malta (100%), Holland (99%), Germany (94%), Denmark (92%), United Kingdom (95%). There was an increase compared to 2012, proving a trend of improvement in CDW management in Europe.

In the United States (USA), for the year 2003, 170 million tons of CDW were generated, with a recycling rate of 48%. However, the remaining 52% were destined for landfills, with the generation rate increasing in recent years (MENEGAKI & DAMIGOS, 2018).

In Asia, there is a wide variation between countries. With the exception of South Korea and Japan, in the other countries on the continent, CDW management is deficient, with around 40% of the total waste generated being CDW and practically without recycling (SÚAREZ-SILGADO et al, 2018).

The generation of CDW varies a lot between countries, which can be explained by the temporal variation, when economic conditions are more favourable to civil construction, due to the climate, in addition to the degree of incentive to civil construction.

In Latin America, there are still many difficulties, due to economic, social and cultural factors. Brazil is the first country to adopt CDW management legislation (SUAREZ-SILGADO et al, 2018).

In Ecuador, environmental protection is provided for in the 2008 Constitution, which is therefore recent. Waste management specifically is provided for in the Environmental Management Law, enacted in 2012 (VEINTIMILLA, 2017).

In Costa Rica, Law no. 8,839 / 2010 (Integrated Waste Management) was created in 2010 (CALVO, 2017). Integrated waste management in Costa Rica proposes a model similar to that of

Brazil, favouring non-generation and culminating in reuse and recycling, to subsequently appropriately dispose of waste (CALVO, 2017).

Colombia presents different municipal legislation for integrated management of CDW, with emphasis on the cities of Medellín, Bogotá, Cali and Ibagué (SUÁREZ-SILGADO et al, 2018).

In an attempt to improve the relationship between generation and proper destination, in Europe, specifically in the Netherlands, since 1997 there have been restrictions and prohibitions on CDW landfills, as well as in Flanders, since 1998. In Germany CDW cannot be sent to landfills and in Austria there is an obligation to separate and recycle CDW since 1993. In Sweden, there is a ban on landfill of hazardous and combustible waste since 2002 and solid waste since 2005, including CDW (SUÁREZ-SILGADO et al, 2018).

According to Suárez-Silgado et al. (2018), in some countries there is the imposition of taxes for the disposal of CDW, such as Hong Kong, since 2005. In France, Denmark, the Netherlands, Sweden, Finland, Belgium, Austria, Italy and France there is also a levy of taxes for disposal of CDW as a measure of restriction to the disposal at the expense of recycling, in an attempt to discourage the generation and disposal of waste, prioritizing material recovery. The authors also highlight countries such as Denmark and Great Britain where natural resource tax plans were enacted in order to reduce the cost difference between recycling and extracting raw materials from nature. As stated by the authors, the granting of benefits and subsidies can also reward recycling activities. It was adopted in some countries such as the Netherlands.

Despite advances in terms of legislation, the use of CDW in the recovery of degraded areas is rarely reported in the specialized literature.

Lasso (2011) developed an experiment involving CDW "Class A" as a soil corrective and conditioner for agricultural purposes with good results. Fernandez-Naranjo et al. (2016) evaluated the future use, in Spain, of CDW for the recovery of areas degraded by mining according to European Union standards, due to a new Spanish guideline for the disposal of this kind of waste in mining areas. They found technical and environmental feasibility, with only the exception of high sulphate content in that country's CDW. The adoption of geotechnical waterproofing techniques in order to prevent percolation is recommended. Restrepo, Bedoya & Vega (2016) characterized and evaluated the CDW as an option for the recovery of urban soils in Colombia. The authors concluded that there is technical and environmental viability by deepening the techniques of characterization and recycling of these residues. Restrepo, Bedoya & Vega (2016) tested the use of CDW in Colombia for the purpose of recovering degraded soils. They concluded that it is viable as a soil conditioner.

However, all experts reaffirm the need to deepen concerns about environmental issues, especially the potential for contamination provided by the CDW, given its great heterogeneity and

composition, in order to avoid the risk of bioaccumulation in the associated ecosystems. Due to the great variation in the generation and the heterogeneity of CDW, there is a concern with the concentration of possible contaminants (SCHAEFER et al, 2007; TOWNSEND et al, 2004; RAMALHO & PIRES, 2009; FILIZOLA et al, 2006, FERNADEZ-NARANJO et al, 2016).

Townsend et al (2004) reported a high level of heavy metals in CDW. Likewise, Ramalho & Pires (2009) identified dangerous elements in recycled CDW in São Carlos, SP, Brazil. Still, according to Schaefer et al (2007), heavy metals leached from CDW composed of mortars. The elements Cu, Zn and Cd were found in greater concentration and the values found were higher than the recommended by the European directive 98/83 / EC.

Thus, the objective of the present paper is to carry out the previous chemical characterization by using X-ray Diffraction (XRD) and X-ray Fluorescence (XRF) of CDW “class A” samples, according to CONAMA Resolution 307/2002. The purpose is to verify chemical elements with potential for contamination and bioaccumulation, aiming at the environmental viability of using it for soil production in projects for the recovery of areas degraded by mining.

Materials and methods

For this paper, civil construction and demolition waste “class A” was chemically and mineralogically characterized by XRF and XRD. It was collected in a recycling centre of CDW during 12 months (October 2018 to October 2019) in order to provide a more representative sampling in a temporal space, with the purpose of evaluating its potential use in the recovery of soils degraded by mining.

Collection and sampling of construction waste

Three samples of 20 kg of solid construction waste were collected, according to NBR 10.007 / 2004 standards (ABNT, 2004), at *3R'S Reciclagem* construction and demolition waste recycling plant, in Criciúma, SC, Brazil (Figure 1). It is a city of 215,186 inhabitants (IBGE, 2020), an industrial and mineral centre of the State of Santa Catarina (SC), in the southern region of Brazil. The collection was made during a period of one year (every four months) with the purpose to obtain a final sample with greater representation in the sampling period. It should be noted that the recycling plant operates by producing recycled CDW from “class A” waste, according to CONAMA Resolution 307/2002, in a mixed way, that is, material called “grey” (consisting of concrete and mortar) and material called “red” (ceramics, ceramic blocks, bricks), which translates into a greater advantage in the present work, since both residues result in a single product already homogenized.

After the collection and drying in an oven at 100°C for 24 hours, the samples were quartered (separated 30 g). Then, they were processed in an orbital mill, sieved in a 200-mesh sieve and sent, after further quartering (5 g), to the Laboratory of Geotechnics at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) to define minerals in the form of oxides by using X-ray diffraction (XRD) techniques and mineralogical characterization by X-ray fluorescence (XRF). The remaining samples were reserved for carrying on the research.



Figure 1: Detail of the production process at 3R'S Reciclagem waste recycling plant in Criciúma, SC, Brazil.

Through X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) techniques. The presence and quantity of minerals was determined through X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) techniques.

The presence and quantity of minerals was determined. These minerals when applied to degraded soils can improve their physical properties (aeration, infiltration) and provide essential nutrients (Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni) or that can be beneficial to plants: Na, Si, Cu (RESTREPO; BEDOYA & VEGA, 2015).

XRD Analysis

For the chemical characterization through X-ray diffraction analysis (XRD) the powder method was used. In the powder sample, the pulverized or disaggregated material is deposited in a specific sample holder for powder, seeking to preserve the disorientation of the particles where all minerals or crystalline structures are analysed.

Minerals and / or crystalline phases were identified by measuring the interplanar spacing (“d” values) and the relative intensities of the diffractogram peaks.

The XRD was performed on a Siemens X-ray diffractometer (BRUKER AXS), model D-5000 (θ - 2θ) equipped with a fixed Cu anode tube ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), operating at 40 kV and 25 mA at primary beam and curved graphite monochromator in the secondary beam.

XRF Analysis

Regarding the X-Ray Fluorescence (XRF), the powder samples were analysed in the angular range of 15 to 75° 2θ in steps of 0.05 ° / 1s using divergence and anti-scattering slits of 2 mm and 0.2 mm in the detector.

For larger elements, sample preparation was performed by using the melted sample technique. As for the smaller elements, the sample was prepared by using the pressed pellet method. The presence of volatiles was evaluated by using gravimetric techniques and is represented by LOI (Loss on Ignition). The X-ray fluorescence spectrometer (XRF) used was the RIX 2000 model by Rigaku.

Data processing

The statistical processing of the data was performed with the Microsoft Excel® Solver tool. It consisted of calculating the means, standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV).

Results and discussion

The chemical characterization of CDW makes it possible to evaluate the potential of these residues, when properly recycled after separation, and recovery of areas degraded by mining, especially in open-sky mining processes. I can avoid possible generations of new contaminated sites and degraded soils.

The XRD analysis aimed to corroborate the crystalline phases present in the CDW. Figures 2, 3 and 4 show very similar crystalline phases, which are made of quartz (SiO_2) and calcite ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$), present in the samples collected during the period of twelve months, in a CDW recycling centre in the municipality of Criciúma, SC. It confirms that the origin of these materials is basically concrete, mortar and ceramics, as expected for this type of waste, with peaks of quartz (SiO_2) and Ca (CO_3), without silicates Al and Fe, which is justified, in the case of quartz, by the fact that all SiO_2 is linked to quartz. These results are in line with that described by Lasso (2011); Restrepo, Bedoya and Vega (2015).

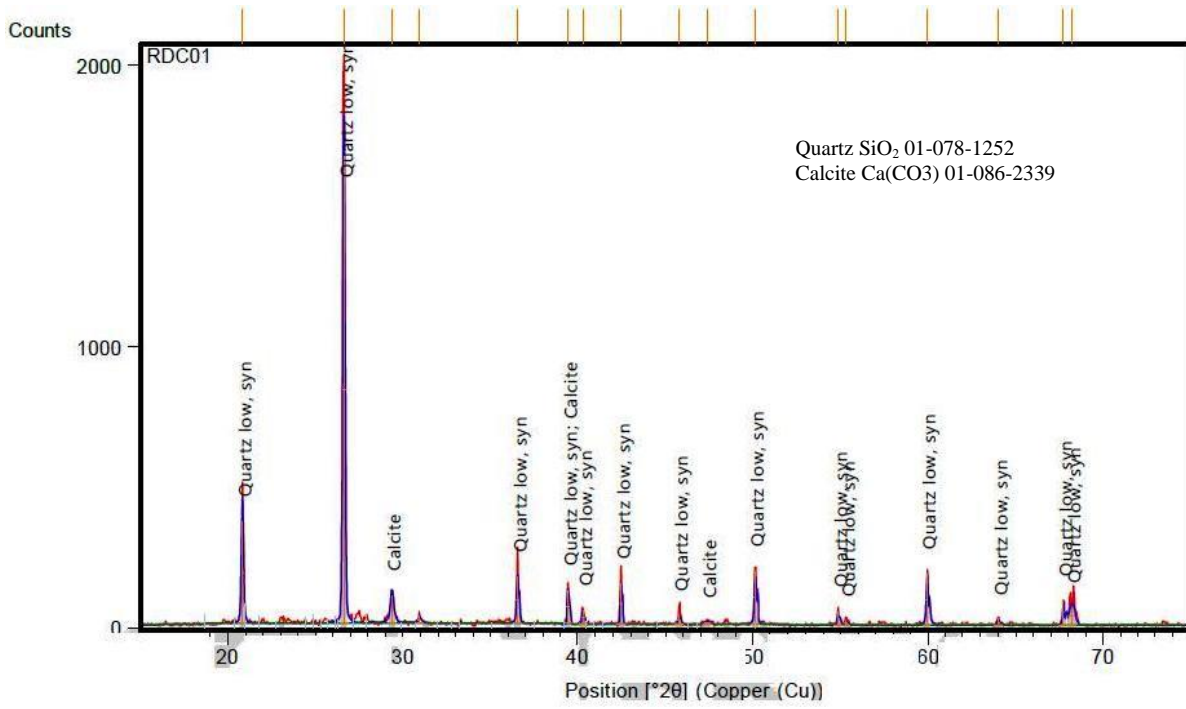


Figure 2: X-ray diffractogram of CDW sample 1.

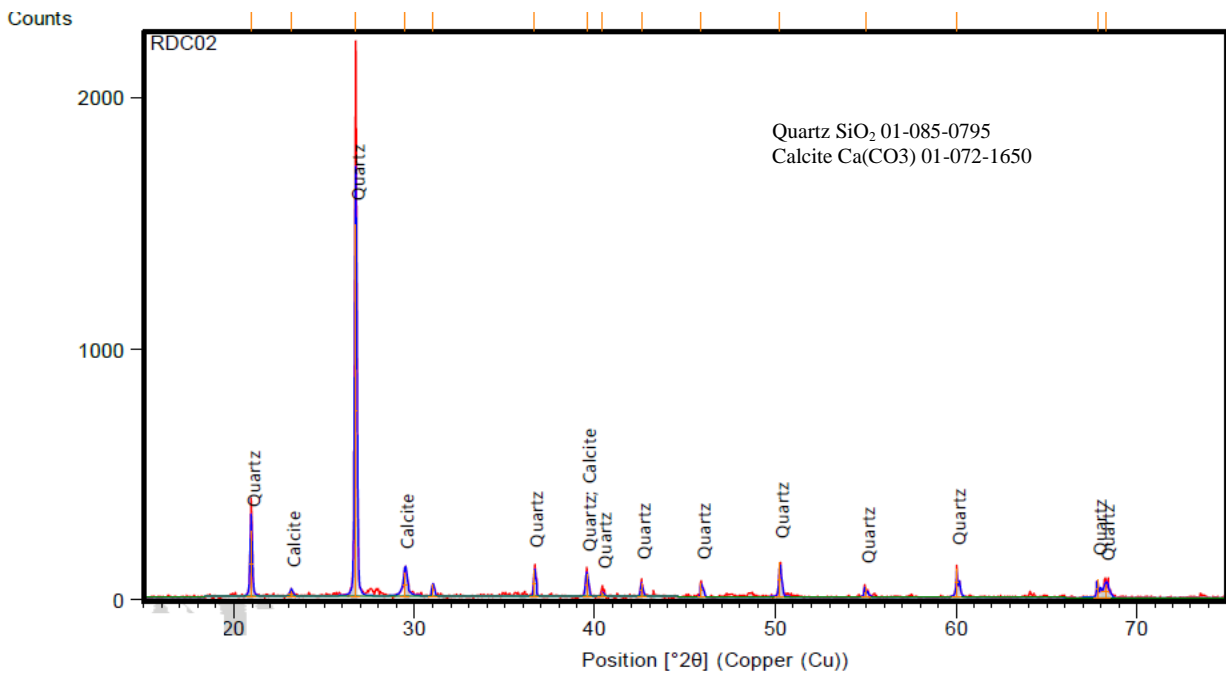


Figure 3: X-ray diffractogram of CDW sample 2.

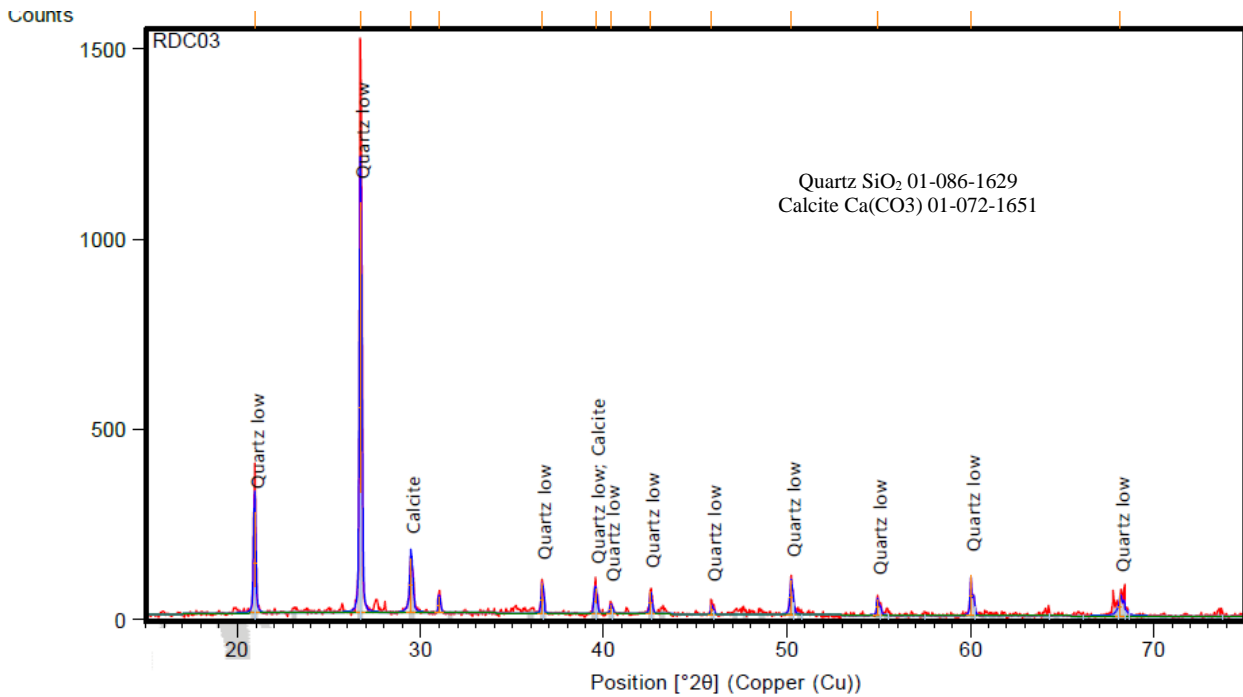


Figure 4: X-ray diffractogram of CDW sample 3.

Table 1 shows the results of the XRF which are in accordance with the results of the assessment of XRD, where the values are presented in percentage (%) of the sample's weight; in Table 2, where the trace elements are shown, the values are presented in mg.Kg⁻¹.

Table 1: X-ray fluorescence spectrometry: result in % by weight

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
Sample/ S ¹	0.09	0.04	0	0.03	0	0.02	0.01	0.07	0.0	0.01	-
CDW 1	64.8	8.72	0.65	3.74	0.05	1.7	9.86	nd	1.4	0.06	8.94
CDW 2	48.5	10.97	0.87	4.35	0.06	3.29	16.2	nd	1.2	0.08	14.2
CDW 3	52.4	10.91	0.84	4.28	0.06	2.56	14.7	nd	1.3	0.09	12.7
Average	55.3	10.2	0.78	4.12	0.05	2.51	13.5	nd	1.3	0.07	12.0
SD	8.52	1.28	0.12	0.33	0.00	0.79	3.25	-	0.0	0.02	2.75
CV	15.4	12.55	15.1	8	10	31.3	23.9	-	4.4	25.9	22.9

LOI: Loss on ignition; SD: Standard Deviation; CV Coefficient of variation; S¹: Standard deviation of the methodology for the Standard Granite AC-E adopted by Geostandards; nd: Not detected.

Table 2: X-ray fluorescence spectrometry: result of trace elements in mg.Kg⁻¹

Element	S ¹	Limit mg.Kg ⁻¹ of dry weight: Order AAA/661/2013*	Limit mg.Kg ⁻¹ of dry weight: CONAMA Resolution 420/2009**	CDW 1	CDW 2	CDW 3	Average	SD	CV
Y	0.78	n/a	n/a	9.7	15.7	15.8	13.7	3.4	25.4
Pb	1.56	0.5	72	50.5	37.0	41.2	42.9	6.9	16.0
Ni	1.45	0.4	30	22.3	19.5	18.7	20.1	1.8	9.37
Cu	0	2	60	32.7	24.7	20.2	25.8	6.3	24.47
Sr	0.87	n/a	n/a	243.6	325.3	331.1	300	48.9	16.3
Zr	0.68	n/a	n/a	239.3	144.6	247.8	210.5	57.2	27.21
Zn	0.65	4	300	121.1	114.7	121.1	118.9	3.69	3.10
Nb	0.3	n/a	n/a	5.9	5.8	5.6	6.1	0.43	7.13
Rb	1.11	n/a	n/a	73.8	71.4	72.8	72.6	1.2	1.65
Cr	4.62	0.5	75	244.1	141	145.7	176.9	58.2	32.9
Ba	29.63	20	150	225.6	196.1	186.3	202.6	20.4	10.09

S1: Standard deviation of the methodology for the JG1A Granite Standard, adopted by Geostandards; DP: Standard deviation CV: Coefficient of variation; n/a: not applicable; * Reference for inert waste landfills; ** Reference for the prevention of soil quality.

As for the trace elements, or smaller elements, it can be seen that they are naturally present in Brazilian soils in different proportions, depending on the original rock. These variations are attributed to the chemical and physical properties of each soil profile (HUGEN et al., 2013). Also, it is observed in Table 2 that the trace elements are below the values determined by CONAMA Resolution 420/2009, which determines the Soil Quality Reference Values (QRV) in Brazil, with the exception of the elements Cr and Ba.

The elements Cr and Ba are widely used in the production of construction materials, such as cement and ceramics. Ba is used in the composition of ceramics and Cr in the production of cement, which, when undergoing a manufacturing process, can oxidise chromium to its most toxic form, Cr (VI). In the EU, since 2005, soluble Cr (VI) is limited to 2 mg.Kg⁻¹. In Brazil, the contents of Cr (VI) and Cr (III) in cements and derivatives are above the limits allowed by European regulations, which even becomes an impediment to the export of these products (MATOS & NÓBREGA, 2009).

Barium in high soil conditions can be absorbed by plants and inhibit photosynthetic activity affecting plant development and consequently productivity. It becomes evident the toxic effect of this chemical element (LIMA et al, 2012).

It is noteworthy, however, that as for the European regulation Order AAA / 661/2013 (SPAIN, 2013), all trace elements are above the limit allowed by the regulation (Table 2). It confirms the results obtained by Schaefer et al (2007).

Heavy metals are relatively stable, non-degradable chemical elements with a density greater than four and which have a high toxic character. In soil, the risk of contamination by metals is increased by industrial, agricultural and urbanization activities (HUGEN et al., 2013). They present highly differentiated forms of environmental and toxicological behaviour according to different chemical forms. This characteristic is due to its atomic structure, which is characterized by free *d* orbitals, reacting with electron acceptors (TAVARES, 2009).

After being released from their original rocks by weathering, due to their electronegativity, ionic rays and different oxidation states, heavy metals can be precipitated or co-precipitated with secondary minerals, adsorbed on the surfaces of secondary minerals (clay or oxides of Fe, Al and Mn) or organic matter present in the soil or, furthermore, complexed and leached by the soil solution (ALLEONI, et al., 2005).

Thus, considering the precautionary principle, it is worth noting that there is a need to limit the application of CDW in the soil, in order to avoid the accumulation of heavy metals over time (HUGEN et al., 2013).

In a process of recovery of degraded area by mining, the application of CDW in produced soils may become viable. Once the area is recovered, it will be destined for a purpose according to the environmental licensing process, different from an agricultural area, for instance, where soil recovery aims to increase fertility, requiring corrections and applications of fertilizers and soil conditioners with greater consistency.

Through XRF analysis, as shown in Table 1, it can be seen that a large part of the constituent material of the sampled CDW is quartz, considered inert, however, it has a structuring function in the soil, and can contribute to its physical properties, in the increased capacity for water retention, aeration, infiltration and soil texture (LASSO, 2011; RESTREPO, BEDOYA & VEGA, 2015).

In an experiment, Silva & Silva (2018) used CDW for the purpose of forming a hydraulic barrier in coal mining, aiming at successfully recovering areas degraded by mining and preventing the formation of acid mine drainage, in the proportion of 75/25. The mixture showed similar results to natural soil, indicating the previous feasibility of using CDW in the recovery of areas degraded by coal mining.

It is worth mentioning the average percentage of 13.59% of Calcite ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) in the analysed samples, which can contribute to improving the chemical quality of the soil and raising the pH (LASSO, et al., 2013). It becomes an interesting material for the recovery of soils with less high pH. This percentage is above the one found by LASSO (2011). The reason for that is the way the recycling centre where the samples of the present work were collected operated the CDW when processing and producing mixed material: grey and red together. The grey material has higher carbonate content, due to the higher concentrations of cement and mortar, associated with that found in the "red" CDW, which consists basically of ceramics, blocks and bricks. However, part of these with added "grey" material, mainly mortar.

CDW is also a source of Ca, Mg, Mn and micronutrients essential to plant organisms, as well as aluminium (Al) present in the form of oxides in ceramics and clay, and Iron (Fe) in the case of the presence of feldspars from the ceramic material, cement and limestone used in the manufacture of civil construction inputs and materials.

It is noteworthy that the coefficient of variation was below 20% in most of the elements analysed, which corroborates with Lasso et al (2013). It can be concluded that there is a degree of standardization in the production of construction materials, as well as in the production process of recycled CDW.

Furthermore, studies on soil-plant and soil-water interactions should be carried out in order to verify possible contamination and bioaccumulation due to the solubility and biological acidification of the materials present and the great degree of heterogeneity of the residues.

Concluding remarks

CDW presents desirable characteristics for the production of soils for the purpose of recovering areas degraded by mining because they contain elements necessary for the good development of the soil, they can provide improvement in physical and chemical aspects, improving the structure and texture of the soil, its capacity for sandblasting and infiltration. They also can enhance the cation exchange capacity (CEC), due to the presence of minerals, in addition to trace elements that are essential for the development of living plant organisms.

Furthermore, the presence of carbonates can result in an increase in pH, contributing to a more effective recovery in acidic soils.

Thus, the correct use of CDW properly separated, recycled and after careful analysis of its chemical composition, in the recovery of sites degraded by mining, can pave the way for the closure

of the waste cycle of two large production chains: mining and construction civil society, favouring full sustainable development.

Thanks

The authors would like to thank 3R's recycling company for the availability of construction and demolition waste samples.

References

Alleoni, L.R.F.; Borba, R.P.; Camargo, O.A. (2005) Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo vol. IV, p.1-42.

Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT (2004) NBR 10.007: Amostragem de Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 21 p.

Brasil (2010) Lei Federal nº 12.305/2010 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 4 de julho de 2019.

Brasil (2002) Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama n. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União.

Brasil (2009) Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama n. 420, de 30 de dezembro de 2009. Dispõe sobre os critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União.

Calvo, S.M.R (2017) Residuos peligrosos de la construcción en Costa Rica y sus impactos al ambiente. Trabalho final de graduação: Engenharia Ambiental, Escola de Química: Instituto Tecnológico da Costa Rica, 82 fl.

Espanha (2013) Order AAA/661 de 18 de abril, por la que se modifican los anexos I,II y III del Real Decreto 1841/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito em vertedero. Boletín Oficial Del Estado.

Fernández-Naranjo, F.J; Alberruche, E. Rodríguez, V, et al. (2016) Recycled construction and demolition waste in mining rehabilitation. Translation on Ecology and the Environment, vol.202: 28-35, doi: 10.2495/W160031.

Filizola, H.F.; Gomes, M.A.F.; Souza, M.D. (2006) Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise de qualidade ambiental: solo, água e sedimentos. Embrapa Meio Ambiente, 169 p.

Hugen, C; Miquellut, D.J; Campos, M.L, et al., (2013). Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.17, n.6, p.622-628.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020) Criciúma -SC. Disponível em: <http://www.ibge/cidades>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

Instituto de Pesquisa Aplicada-IPEA (2012) Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil. Relatório técnico, IPEA, 42 p.

- Lasso, P.R.O (2011) Avaliação da utilização de resíduos de construção civil e demolição reciclados (CDW-R) como corretivos de acidez e condicionadores de solo. Tese. Universidade de São Paulo: Programa de Pós Graduação em Ciências. 122 fl.
- Lasso, P.R.O; Vaz, C.M.P.; Bernardi,, et al.(2013) Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. R. Bras. Ci. Solo, 37:1659-1668.
- Lima, E.S.A; Sobrinho, N.M.B.A; Magalhães,M.O.L; et al. (2012). Absorção de bário por plantas de arroz (oryza sativa l.) e mobilidade em solo tratado com baritina sob diferentes condições de potencial redox. Quim. Nova, Vol. 35, No. 9, 1746-1751.
- Matos, W.O; Nobrega, J.A.(2009) Especificação de cromo em cimentos e derivados de cimento brasileiros. Quim. Nova, Vol. 32, No. 8, 2094-2097.
- Menegaki,M; Damigos, D (2018) A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. Green and Sustainable Chemistry, v.13:8-15.
- Oliveira, M.J.E (2002) Materiais descartados pelas obras de construção civil: Estudo dos resíduos de concreto para reciclagem. Tese. Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, 191 fl.
- Ramalho, AM; Pires, A.M.M (2009) Viabilidade do uso agrícola de resíduos da construção civil e da indústria cerâmica: atributos químicos. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-CIIC,3., Campinas, 2009. Anais... Instituto Agronômico de Campinas. CD-ROM.
- Restrepo, E, M.; Bedoya, L.O.; Vega, N, O (2015). Residuos de La construcción: una opción para la recuperación de suelos. Revista EIA, v 12, n. 2: 55-60.
- Schafer, C.O.; Rocha, J. C. (2007) Estudo do comportamento de lixiviação de argamassa produzidas com agregados reciclados. Exacta, v.5, n.2: 243-252.
- Silva, T.C.; Silva, C.R (2018) Estudo do comportamento geotécnico de misturas de solo argiloso e resíduos de construção civil para aplicação como barreira hidráulica em áreas degradadas. Universidade do Extremo Catarinense - UNESC: Trabalho de conclusão de curso: Engenharia Civil. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/6315>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.
- Suárez-Silgado, S; Molina, J.D.A; Mahecha, L; et al. (2018) Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia). Gestión y ambiente 21(1): 9-21.
- Tavares, S.R.L. (2009) Fitorremediação de solo e águas em áreas contaminadas por metais pesados proveniente da disposição de resíduos perigosos. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009, 415 fl.
- Townsend, T.; Tolaymat.; Leo,K; et al. (2004) Heavy metals in recovered fines from construction and demolition debris recycling facilities in Florid. Science of the Total Environment, v.332:1-11.
- Veintimilla, J.A.R (2017) Metodología para el control y manejo de residuos de construcción y demolición de edificaciones de la ciudad de Machala. Dissertação: Mestrado. Unidade Acadêmica de Engenharia Civil: Centro de Estudos de Pós-Graduação. Universidad de Machala, Ecuador, 52 fl.

I SEMANA LIXO ZERO PASSO FUNDO/RS: APRENDIZADOS E PERSPECTIVAS

| ID 18843 |

1João Felipe Freitag, **2**Manoela Cielo, **3**Naiara Elisa Kreling

¹Universidade de Passo Fundo, Curso de Engenharia Ambiental, e-mail: 158662@upf.br;

²Cielo Consultoria Ambiental, Passo Fundo, e-mail: cieloambiental@gmail.com

³Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental,
e-mail: naiarakreling@gmail.com

Palavras-chave: Resíduos Sólidos; Reciclagem; Desenvolvimento Sustentável.

Resumo

O panorama dos resíduos sólidos no Brasil, após a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, ganhou maior destaque e importância frente aos entes federativos. Diante das fragilidades das cidades quanto a aspectos de saneamento básico, os resíduos sólidos representam um dos itens que demandam maior atenção. Por conseguinte, após avanços ao longo dos 11 anos da PNRS, alguns municípios destacam-se na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, especialmente os resíduos sólidos urbanos. Nesse conceito, surge no Rio Grande do Sul o Coletivo Lixo Zero, movimento com objetivo ao qual são levantadas e discutidas a pauta dos resíduos sólidos. No município de Passo Fundo, através da iniciativa da sociedade civil, criou-se em 2020 o Instituto Lixo Zero Passo Fundo (ILZ-PF), com o intuito de discutir a integração da gestão dos resíduos em nível local. Ao longo do ano de 2020 realizou-se a I Semana Lixo Zero de Passo Fundo, onde foram desenvolvidas atividades voltadas a contemplar as quatro cooperativas de reciclagem do município, seja pela destinação de resíduos recicláveis ou doação de alimentos, principalmente através do Desafio 1+1. As atividades foram realizadas pela sociedade civil, empresas e escolas, sendo que a maioria delas foram conduzidas em formato remoto, através de videoconferências, *lives* e encontros virtuais, portanto, respeitando as diretrizes sanitárias impostas pela pandemia da Covid-19. Ao todo, nesse modelo, foram apresentadas e efetivadas 80 ações dentro do âmbito da I Semana Lixo Zero de Passo Fundo. Através dessa metodologia, então, foram cadastrados diferentes atividades, incluindo ações de limpeza de mananciais, instalação de Ecopontos para descarte de resíduos, ações em indústrias, captação de roupas usadas para brechó, *Drive Thru* solidário e pintura em grafite nas sedes das cooperativas de reciclagem do município. Ao todo, foram arrecadados

através do Desafio 1+1 2832,5 kg de resíduos sólidos recicláveis e 370,5 Kg de alimentos não perecíveis que foram destinados às quatro cooperativas do município. De forma geral, compreende-se que frente a complexidade do panorama dos resíduos sólidos, a iniciativa local do ILZ-PF atingiu o objetivo através da I Semana Lixo Zero de Passo Fundo, uma vez que deu visibilidade e salientou a importância do trabalho dos cooperados junto ao manejo e segregação dos resíduos sólidos urbanos do município. A expectativa, portanto, é de aumento do montante de atividades para 2021, visto principalmente o êxito quanto à primeira edição da Semana Lixo Zero e consolidação da programação da Semana no calendário do município.

Introdução

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída através da Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), estabelece preceitos quanto ao gerenciamento e gestão de resíduos sólidos no Brasil. Dentre os principais pontos da Política estão a apresentação dos termos de não geração, redução, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, além do incentivo à integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Considerando os fatores acima apresentados, a problemática dos resíduos sólidos nas cidades torna-se relevante frente ao impacto destes no ambiente. Nesse sentido, a atuação de organizações da sociedade civil sem fins lucrativos, como o Coletivo Lixo Zero do estado do Rio Grande do Sul contribuem para disseminar e articular programas de conscientização, certificação, reestruturação e controle sobre os resíduos que produzimos (COLETIVO LIXO ZERO RIO GRANDE DO SUL, 2021).

Considerando a gravimetria dos resíduos sólidos no Brasil (Figura 1), os dados da Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), indicam que 45,3% representam matéria orgânica, sendo os resíduos com potencial de reciclabilidade cerca de 44% do total. Em Passo Fundo, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), são gerados cerca de 0,66 Kg/hab.dia⁻¹ de resíduos sólidos da coleta domiciliar e resíduos públicos da limpeza urbana. Por sua vez, segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), a população de Passo Fundo atualmente possui 204.722 habitantes. Dessa forma, torna-se possível determinar a geração diária de resíduos no município, sendo igual a 135,1 toneladas.dia⁻¹. Ainda, conforme informações do SINIS, de todo o montante gerado, apenas 6,47% dos resíduos sólidos recicláveis (exceto matéria orgânica e rejeitos) são efetivamente reciclados.

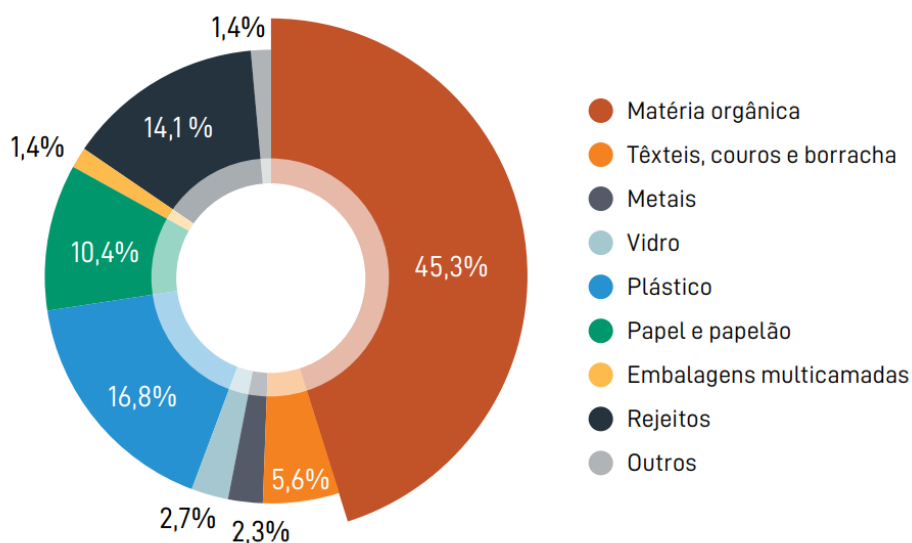


Figura 1: Gravimetria dos resíduos sólidos no Brasil. Fonte: ABRELPE (2020).

De acordo com a Diretriz Técnica nº 006 (FEPAM, 2021), que trata sobre Triagem e Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos, a reciclagem consiste no processo de transformação dos resíduos sólidos que envolvem a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. Os atores que mais contribuem para o índice de reciclagem no município, de acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS, 2016) anexo da Lei Municipal nº 5.286/2017, são os catadores associados a cooperativas de reciclagem, sendo estas: Cooperativa Amigos do Meio Ambiente (COAMA), Cooperativa de Trabalho dos Recicladores do Parque Bela Vista (RECIBELA), Cooperativa de Trabalho dos Recicladores da Santa Marta (COOTRAEMPO) e Associação de Recicladores Esperança da Vitória (AREVI). Ao todo são cerca de 90 cooperados, os quais reciclavam aproximadamente 120 toneladas/mês de resíduos. Porém, com o início da pandemia, em março de 2020, sua produção mensal reduziu para 60 toneladas/mês, ou seja, metade da quantidade anterior. Ressalta-se que a renda dos cooperados depende diretamente da venda desses materiais.

Com intuito de contribuir com as políticas públicas em nível local, a programação da I Semana Lixo Zero de Passo Fundo, de 23 de outubro a 1º de novembro, buscou beneficiar as cooperativas de reciclagem, visto a menor renda média por parte dos cooperados. Dessa forma, através do cadastro de atividades alusivas à I Semana Lixo Zero Passo Fundo por parte da sociedade, a questão do gerenciamento de resíduos ganhou enfoque e engajamento na cidade de forma linear e integral. Portanto, o presente trabalho objetiva apresentar os resultados obtidos na realização da Primeira da Semana Lixo Zero na cidade de Passo Fundo/RS.

Materiais e Métodos

Criação das ações desenvolvidas

As atividades realizadas na Primeira Semana Lixo Zero de Passo Fundo/RS foram definidas com base em fatores atuais referente principalmente aos atores mais vulneráveis da cadeia dos resíduos sólidos. Após terem sua renda afetada drasticamente pela pandemia, a organização do evento buscou contemplar os cooperados associados às quatro cooperativas de reciclagem. Para isso, através de uma equipe multidisciplinar, tornou-se possível delimitar aspectos e mecanismos para construir a metodologia para o alcance dos objetivos. Ainda, considerando as restrições impostas pela pandemia da Covid-19, as atividades desenvolvidas no âmbito da I Semana Lixo Zero de Passo Fundo foram quase em sua totalidade realizadas em formato remoto ou à distância. Um dos diferenciais do evento foi o cadastro de ações por parte da comunidade. O responsável pelo cadastro da ação, dessa forma, fica encarregado de divulgar, executar e tomar nota dos resultados obtidos (Figura 2), de acordo com orientações da equipe do ILZ-PF. Por esta via, foram realizadas atividades de limpeza de mananciais, instalação de Ecopontos para descarte de resíduos, ações em restaurantes, captação de roupas usadas para brechó, educação ambiental em escolas, pintura em grafite, lives de sustentabilidade.



Figura 2: Fluxograma do cadastro de ações na 1ª Semana Lixo Zero de Passo Fundo.

Desafio 1+1

A principal atividade realizada durante a I Semana Lixo Zero de Passo Fundo foi o Desafio 1+1 (Figura 3), ao qual a população foi convidada a participar arrecadando 1 Kg de alimentos não perecível e 1 Kg de resíduos sólidos reciclável.

CONHEÇA O DESAFIO 1+1

Alimento Não Perecível

COOPERATIVA DE RECICLADORES

Cada colaborador doa

1 Kg de alimentos não perecíveis +
1 Kg de resíduos recicláveis limpos
(plástico, papel, papelão, alumínio)

INSTITUTO LIXO ZERO BRASIL

LIXO ZERO PASSO FUNDO

SEMANA LIXO ZERO PASSO FUNDO/RS

Figura 3: Encarte de apresentação do Desafio 1+1.

Fonte: Autores.

Os atores participantes do Desafio 1+1 implementaram na sua empresa, universidade, escola, indústria, condomínio e residência um espaço para arrecadar e armazenar o volume de resíduos e alimentos doados.

Drive Thru

Para maior arrecadação de materiais, foi pensado no Dia D, ao qual foi realizado através de um *Drive-Thru* localizado junto a um dos apoiadores do evento, respeitando todos os protocolos de distanciamento social no momento da entrega.

Grafite nas cooperativas

Com intuito de impactar e reconhecer ainda mais o trabalho das Cooperativas de Reciclagem de Passo Fundo, a organização pensou em revitalizar e tornar o espaço das sedes das Cooperativas ainda mais acolhedoras e valorizadas. Para isso, através do investimento de patrocinadores, tornou-se possível realizar a pintura através da técnica de grafite, evidenciando o caráter conservacionista e ambiental das organizações.

Resultados e Discussões

Live de abertura

Na *live* de abertura (Figura 3), foram levantadas e discutidas formas de melhorar a gestão dos resíduos sólidos através da arguição de diferentes setores e lideranças. A participação por parte da comunidade alcançou picos de visualização simultânea em 71 acessos durante a *live*, sendo que até o mês de maio de 2021, o vídeo da transmissão que está no canal do ILZ-PF no YouTube possuía 445 visualizações. A atividade que deu abertura oficial à programação do evento foi uma *live*, realizada através da plataforma *StreamYard* e transmitida simultaneamente através do perfil do ILZ-PF. Na *live* de abertura, os convidados foram Dr. Paulo Cirne - Promotor Especializado em Justiça do Ministério Público, Secretário Rubens Marcon Astolfi - Secretário Municipal de Meio Ambiente de Passo Fundo na gestão 2017-2020 e o Coordenador Iltomar Siviero - Projeto Transformação, além da Embaixadora Lixo Zero Passo Fundo, Manoela Cielo e os organizadores Juliana Garcez Grazziotin e João Felipe Freitag.



(A)

(B)

Figura 3: Live de abertura da I Semana Lixo Zero de Passo Fundo. (A) Encarte de convite; (B) Captura durante a realização do evento.

Fonte: Autores.

Desafio 1+1

Através do Desafio 1+1, foram coletados ao todo cerca de 2832,5 kg de resíduos sólidos recicláveis e 370,5 Kg de alimentos não perecíveis, destinados para as 4 cooperativas de reciclagem de Passo Fundo, muitos destes através do *Drive Thru* do Dia D (Figura 4).



Figura 4: Coleta de materiais durante o Drive Thru.

Fonte: Autores.

Ações realizadas

No que tange os cadastros das ações pela população (Figura 5), ao todo foram 80 atividades planejadas durante a I Semana Lixo Zero de Passo Fundo. Tal retorno por parte da comunidade, expressa a visibilidade e alcance da iniciativa que teve apenas sua primeira participação no município. Outro aspecto que merece ser salientado relaciona-se com a variedade de iniciativas propostas pela comunidade, corroborando que a atuação de iniciativas compatíveis com o tema da sustentabilidade pode ser tratado através de forma multidisciplinar.



Figura 5: Cadastro de ações na I Semana Lixo Zero de Passo Fundo. (A) Ação de educação ambiental em Escola Pública Municipal; (B) Recolhimento de resíduos em estradas vicinais; (C) Contêiner para descarte de vidros; (D) Arrecadação de resíduos por empresas parceiras .

Divulgação do evento

Para dar visibilidade às atividades realizadas durante e Semana, foram gravadas por duas vezes imagens com a emissora RBS TV (Figura 6), alcançando a vitrine estadual durante a programação. Em uma delas, na edição do sábado dia 24/10/2021 do Jornal do Almoço, estima-se que a população que acompanhava o telejornal era de milhões de gaúchos, índice acentuado devido também à pandemia (GAUCHAZH, 2020). A publicidade do evento em nível estadual possibilita, dessa forma, engajar ainda mais novos adeptos e, sobretudo, influenciar as pessoas a pensar sua relação com os resíduos no dia a dia.



Figura 6: Momento de captação das imagens.

Fonte: Autores.

Contemplando as Cooperativas do município, através do investimento de patrocinadores, tornou-se possível realizar a pintura em grafite pelo artista Iugue. Na arte é evidenciada a seguinte frase: “Resíduos reciclados transformam a vida!” (Figura 7), ressaltando aspectos da interação dos cooperados com a natureza e, principalmente, a reciclagem.



Figura 7: Pintura em grafite no muro das Cooperativas.

Fonte: Diogo Zanatta.

Considerações Finais

Após a realização do evento, na etapa de análise dos resultados obtidos, tornou-se possível concluir que o evento cumpriu os objetivos propostos, visto principalmente o suporte recebido da comunidade e das Cooperativas de Reciclagem. Tal conclusão se faz possível visto o número elevado de cadastro de ações que movimentaram a Semana Lixo Zero e o retorno obtido dos cooperados, que tiveram acesso a alimentos e resíduos recicláveis o que, por sua vez, possibilitou aumento de renda por parte dos trabalhadores.

Agradecimentos

Aos patrocinadores, parceiros e apoiadores da equipe do Instituto Lixo Zero Passo Fundo, agradecemos toda a cooperação e assistência durante a realização do evento.

Referências Bibliográficas

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2020**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 21 mai. de 2021.

COLETIVO LIXO ZERO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <<https://www.coletivolixozerors.com/>>. Acesso em: 20 mai. de 2021.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Diretriz Técnica nº 006/2021: Triagem e Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/area4/17.asp>>. Acesso em: 24 mai. de 2021.

GARCIA, J. M.; LONGO, R. M. Pagamento por Serviços Ambientais hídricos: políticas públicas e interação com o ODS 6. **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE E SOCIEDADE**, v. 1, 2020.

GAUCHAZH. **Veículos da RBS batem recorde de audiência**, 2020. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/noticia/2020/04/veiculos-da-rbs-batem-records-de-audiencia-ck8kpt33601gj01pmcw6la6v2.html#:~:text=O%20programa%20exibido%20na%20ter%C3%A7a,assistidas%20das%20C3%BAltimas%20duas%20d%C3%A9cadas..> Acesso em: 03 jun. de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: População Geral**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/passos-fundo.html>>. Acesso em: 19 mai. de 2021.

PETRASSI, A. C.; VAN BELLEN, H. M. Gerenciamento de resíduos: Uma reflexão a partir dos objetivos de desenvolvimento sustentável. **In: VIII Congresso Nacional de Administração e Contabilidade-AdCont**, 2017.

PMGIRS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Passo Fundo. **Anexo da Lei Municipal nº 5.286/2017**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/plano-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-passo-fundo-rs>>. Acesso em: 19 mai. de 2021.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Mapa de Indicadores: Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://appsfnis.mdr.gov.br/indicadores/web/residuos_solidos/mapa-indicadores>. Acesso em: 19 mai. de 2021.

INFLUÊNCIA DO TIPO DE LIGNINA NA CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRA NATURAL

| ID 18851 |

**1Ana Miyuki Sasamori, 2Pamela Galera Prestes Pires, 3Alessandra Luiza de Lemos,
4Ruth Marlene Campomanes Santana**

1Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Artecola Química, e-mail: amsasamori@gmail.com;

2Artecola Química, e-mail: pamela.prestes@artecola.com.br; 3Artecola Química, e-mail:

alessandra.lemos@artecola.com.br; 4Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail:

ruth.santana@ufrgs.br

Palavras-chave: lignina; fibras naturais; embalagens pós-consumo.

Resumo

O uso de matérias-primas recicladas e de fontes renováveis faz-se necessário tanto para o desenvolvimento econômico, social, ambiental quanto tecnológico. Nesse sentido, esse trabalho consiste no estudo da influência de 2 tipos de ligninas (uma derivada de pinus e denominada como Lig I e outra de eucalipto, denominada Lig II) na caracterização de compósitos poliméricos com polietileno de baixa densidade reciclado (r-PEBD-Al) e farinha de madeira (FM), na proporção 70% e 30% em massa de matriz/reforço, respectivamente. O r-PEBD-Al é oriundo das embalagens pós-consumo Tetra Pak. Os compósitos foram processados em extrusora de laboratório dupla rosca co-rotante. Os resultados de MFI indicaram que ambas as ligninas apresentaram potencial uso como agente de fluxo para os compósitos de r-PEBD-Al/FM, com 41% e 13% de aumento para Lig I e Lig II, respectivamente, em relação ao compósito 0 sem lignina (referência). As propriedades mecânicas evidenciaram que a origem da lignina influencia no desempenho dos compósitos, sendo que a Lig I, que é derivada de pinus, mesma fonte que a farinha de madeira apresentou uso potencial como agente de acoplamento. Os resultados se mostraram favoráveis para um reaproveitamento mais nobre para as embalagens pós-consumo e o subproduto lignina.

Introdução

O desenvolvimento acelerado das indústrias e a integração das economias em todo o planeta permitiu um aumento expressivo da circulação de pessoas, de mercadorias, promovendo o uso intensivo e não sustentável dos recursos naturais. A pandemia do Covid-19 surge como uma crise sanitária e humanitária, trazendo à tona diversos problemas, principalmente os de cunho ambiental, social e econômico (LIMA, *et al.*; 2020; LEE, TRIMI, 2021). Diante desse cenário global de instabilidade econômica, as empresas têm concentrado seus esforços na contenção de despesas, redução de custos e geração de novos negócios. As mudanças estão ocorrendo em escalas e velocidades antes não vistas. Assim, o desenvolvimento sustentável e a inovação têm um papel fundamental na superação dessas dificuldades, uma vez que muitos recursos naturais serão limitados no futuro (ANUGWON, *et al.*, 2019; LEE, TRIMI, 2021). Integrar a economia circular de modo a promover o uso inteligente dos recursos e a eliminação de resíduos são um dos desafios da atualidade e uma das exigências da sustentabilidade. A otimização de sistemas ambientais para que se possa reduzir a desigualdade é primordial para o desenvolvimento sustentável (MA, 2018; PLATNIEKS, *et al.*, 2020; POZO, 2020).

O uso de fibras vegetais como material de reforço em compósitos poliméricos vem crescendo devido ao seu baixo custo, baixa densidade e peso, baixo impacto ambiental, além de envolver aspectos socioambientais importantes quando comparados às fibras sintéticas. A possibilidade de substituição, mesmo que parcial, de derivados fósseis por materiais de fontes renováveis representa uma nova abordagem no desenvolvimento de materiais, sendo hoje uma alternativa viável devido ao crescente interesse por produtos com menor impacto ambiental. No entanto, as fibras naturais de origem vegetal apresentam algumas desvantagens como baixa estabilidade dimensional, baixa interação química entre as interfaces reforço/matriz, sendo essa um dos grandes desafios em compósitos reforçados com fibras vegetais e conseqüentemente resultando em menores propriedades mecânicas e térmicas quando comparadas com as fibras sintéticas (CESARIANO, *et al.*, 2019; GUILHEN, *et al.*; 2017; KORDKHEILI, PIZZI, 2020; LEMOS, *et al.*; 2017).

As embalagens Tetra Pak são amplamente utilizadas em todo o mundo devido à conveniência na conservação de alimentos frescos, com estabilidade de prateleira e sem perdas de propriedades. Entretanto, reciclar esse tipo de embalagem é um pouco complexo e requer plantas de processamento especiais, em função de sua composição: papelão (75%), polietileno de baixa densidade (20%) e alumínio (5%). O papelão é separado do polietileno e do alumínio e cada material pode ser reaproveitado em diferentes aplicações (PLATNIEKS, *et al.*, 2020; ROBERTSON, 2021). De acordo com a empresa Tetra Pak, em 2019, mais de 190 bilhões de embalagens Tetra Pak foram

fornecidas para mais de 160 países, sendo que desse montante apenas aproximadamente 26% das embalagens foram recicladas pela Tetra Pak (GEORGIPOULOU, *et al.*, 2021). O restante das embalagens têm como destino final o lixo, resultando em sérios problemas de desperdícios de recursos e poluição ambiental. Desse modo, a integração destes resíduos na cadeia circular de matérias-primas é de suma importância para a economia das cidades como também do meio ambiente (MA, 2018; PLATNIEKS, *et al.*, 2020).

De acordo com Kordkheili e Pizzi (2020), a indústria de papel e celulose gera anualmente mais de 50 milhões de toneladas de lignina. A lignina é um recurso renovável, considerado o segundo polímero natural mais abundante, mas grande parte ainda é descartada como resíduo ou como fonte de energia produzida pela indústria papeleira (ANUGWON, *et al.*, 2019; KORDKHEILI, PIZZI, 2020; SAKAI, *et al.*; 2018; YAN, *et al.*, 2021). Devido à sua estrutura complexa, que contém grupos polares e apolares, diversos estudos têm investigado aplicações mais nobres para a lignina, tais como uso em biomateriais, adesivos e agente de acoplamento em compósitos poliméricos com fibra de madeira ou agente de fluxo em blendas poliméricas de polipropileno ou polietileno com lignina (ALEXY, *et al.*, 2000; KORDKHEILI, PIZZI, 2020).

Deste modo, visando o reaproveitamento dos recursos disponíveis de forma mais eficaz através da economia circular, do desenvolvimento sustentável e da inovação, o objetivo principal do presente estudo foi avaliar a influência de dois tipos de ligninas na caracterização de compósitos de polietileno de baixa densidade reciclado com farinha de madeira.

Materiais

Os materiais utilizados na confecção dos compósitos avaliados nesse estudo foram:

- farinha de madeira (FM): da espécie *Pinus Elliotti* com granulometria de 35 a 325 mesh, com maior concentração granulométrica na faixa de 35 e 60 mesh e 7% de umidade, utilizada como reforço;
- polietileno de baixa densidade reciclado (r-PEBD-Al): oriundo das embalagens cartonadas pós-consumo da Tetra Pak e que contém aproximadamente 80% de polietileno e 20% de alumínio, de acordo com dados da literatura, utilizado como matriz;
- 2 tipos de ligninas: ambas obtidas pelo processo kraft, sendo uma derivada de pinus, denominada aqui como lignina do tipo I (Lig I) e a outra derivada de eucalipto, denominada como lignina do tipo II (Lig II). Ambas as ligninas utilizadas nesse trabalho são subprodutos da indústria de papel e celulose.

Processamento

Os compósitos r-PEBD-Al/FM foram processados em uma extrusora dupla rosca co-rotante de laboratório (modelo CDR 22 e L/D = 40) da Extrusão Brasil. Os compósitos foram preparados com 30% em massa de FM em relação à matriz. Os compósitos foram denominados de acordo com a adição de lignina: 0 (referencial sem lignina), Lig I (5% em massa da lignina do tipo I) e Lig II (5% em massa da lignina do tipo II). Na Tabela 3, pode-se verificar a identificação dos compósitos e as composições utilizadas. O perfil de temperatura utilizado no processo de extrusão foi de 70°C, 100°C, 120°C, 140°C, 150°C e 160°C (da alimentação ao cabeçote de saída), com velocidade de rotação entre 55 a 65 RPM. Os compósitos foram processados no formato de lâminas e, após, foram moldados por compressão térmica em prensa da marca Hidraumak, utilizando um molde metálico de 20 x 20 cm de dimensão, sendo pré-aquecidos por 1 min a 160°C seguidos de 20 s de prensagem com pressão de 50 kgf/cm². Posteriormente, foram resfriados em prensa com temperatura ambiente (Eletrovale) e pressão de 5 kgf/cm² durante 20 s.

Tabela 3: Compósitos r-PEBD-Al/FM e suas composições.

Compósitos	Componentes			
	FM (%)	r-PEBD-Al (%)	Lig I (%)	Lig II (%)
0	30,0	70,0	-	-
Lig I	28,5	66,5	5,0	-
Lig II	28,5	66,5	-	5,0

Caracterização

Os compósitos foram caracterizados conforme os seguintes ensaios:

- índice de fluidez do fundido (MFI): realizados no equipamento Ceast Melt Flow Junior, de acordo com a norma ASTM D1238:2020. As condições de 190°C/2,16 kg foram utilizadas, com pré-aquecimento e tempo de corte de 300 s e 15 s, respectivamente;
- tração: executados conforme recomendações da ISO 527-1:2019, utilizando uma máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL 500 BF com célula de carga de 500 kgf e velocidade de 50 mm/min;
- resistência ao impacto Charpy: realizado com base na norma ISO 179:2010, utilizando equipamento Ceast Resil 5.5, com martelo de 0,5 J e velocidade de 3,60 m/s.
- densidade: determinada pelo princípio de Arquimedes utilizando uma balança de precisão com água destilada, como recomendado pela ASTM D 792:2020;

- temperatura de deflexão térmica (HDT): realizado em equipamento Ceast Vicat/HDT Junior modelo 6910, baseado na norma ISO 75:2020;
- análise estatística de variância (ANOVA): todos os resultados obtidos foram analisados estatisticamente por ANOVA e complementados pelo teste de Tukey, utilizando o software livre PAST, versão 4.06b.

Resultados e Discussão

Índice de fluidez

Na Figura 4 são mostrados os resultados do índice de fluidez (MFI) do r-PEBD-Al e dos compósitos obtidos. A amostra r-PEBD-Al apresentou MFI maior quando comparado aos compósitos 0, Lig I e Lig II, o que já era esperado, uma vez que a presença de FM altera a reologia do material, dificultando o movimento das cadeias poliméricas e reduzindo a capacidade de fluxo dos compósitos (CARVALHO, *et al.*, 2020; CERQUEIRA, 2006). Ainda, de acordo com a Figura 4, verifica-se que a Lig I foi a que apresentou maior resultado de MFI (41% em relação ao compósito 0) seguida da Lig II (13% em relação ao compósito 0), confirmando que a presença da lignina influencia no comportamento reológico do compósito e pode estar atuando como agente de fluxo, conforme Alexy *et al.* (2000).

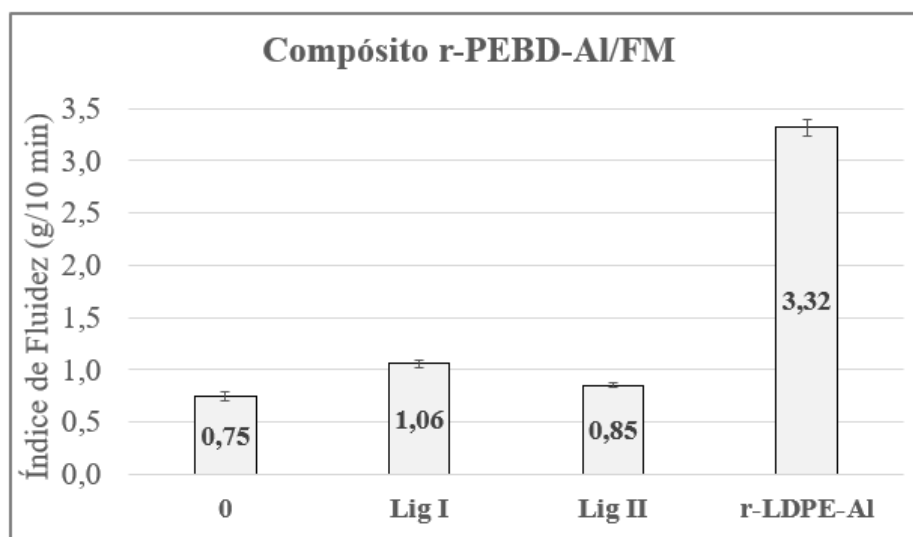


Figura 4: MFI do r-LDPE-Al e dos compósitos.

A Figura 5 apresenta imagens fotográficas das lâminas de compósitos na saída da matriz da extrusora e, como pode-se observar, os compósitos Lig I e Lig II aparentam maior fluência pela presença de “rugos” nas lâminas quando comparadas ao compósito 0, resultados que corroboram

com os valores de MFI encontrados, além de um sutil amarelamento quando comparado ao compósito sem lignina. A análise estatística mostrou que os valores de MFI de todos os compósitos apresentaram diferenças significativas entre si.

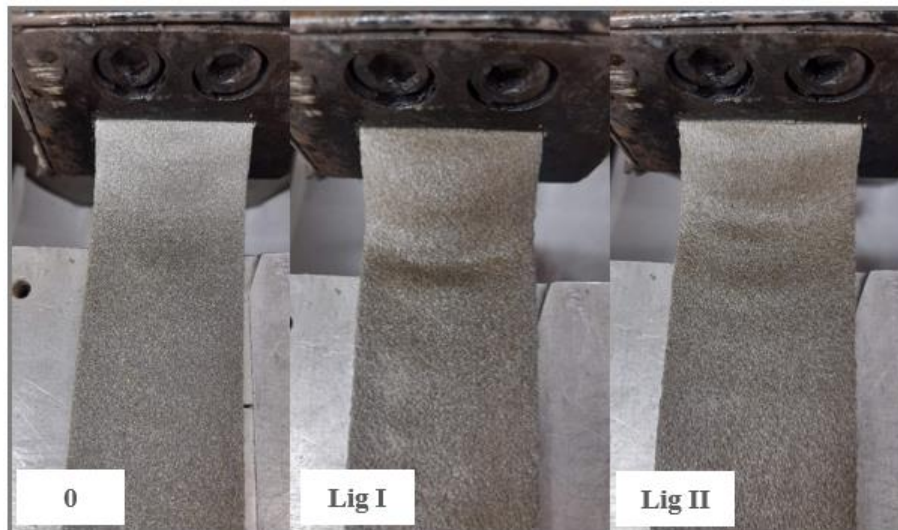


Figura 5: Lâminas dos compósitos na saída da matriz da extrusora.

Propriedades de Tração

Na Figura 6 é apresentado o módulo elástico dos compósitos, onde é possível observar que os compósitos 0 e Lig I não apresentaram diferenças significativas entre si enquanto verifica-se um decréscimo de 27,02% no módulo elástico para o Lig II em relação ao compósito 0.

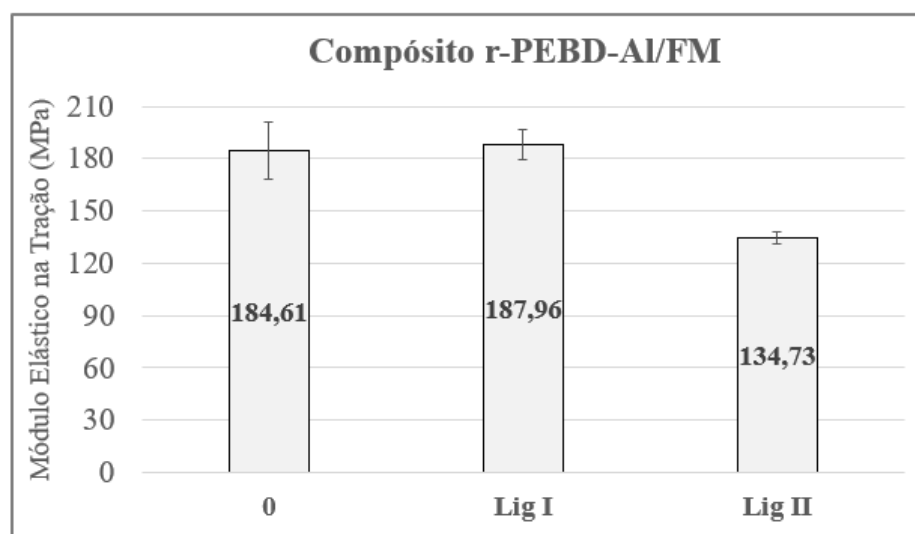


Figura 6: Módulo elástico dos compósitos avaliados.

A Figura 7 mostra a resistência à tração na ruptura dos compósitos avaliados. O compósito Lig I apresentou diferença significativa em relação ao compósito 0. Já o compósito Lig II não apresentou diferença significativa em relação à 0. De acordo com Miléo (2015), a resistência à tração é fortemente dependente da compatibilidade entre a fibra e a matriz, enquanto que o módulo de elasticidade é mais influenciado pela impregnação das fibras na matriz. Assim, a lignina I pode ter auxiliado na interação fibra/matriz do compósito Lig I, conforme observado por Anugwom *et al.* (2019), onde a presença de lignina mostrou-se promissora na substituição do agente compatibilizante apresentando valores superiores de resistência à tração. O mesmo não ocorreu com a lignina II, que apresentou valor de resistência à tração estatisticamente igual ao compósito sem lignina (compósito 0) e módulo de elasticidade inferior aos demais compósitos. Acredita-se que esses resultados tenham sido influenciados pelas fontes das ligninas, uma vez que a lignina I é derivada de pinus assim como a FM, apresentando uma melhor interação do que a lignina II que é derivada de eucalipto.

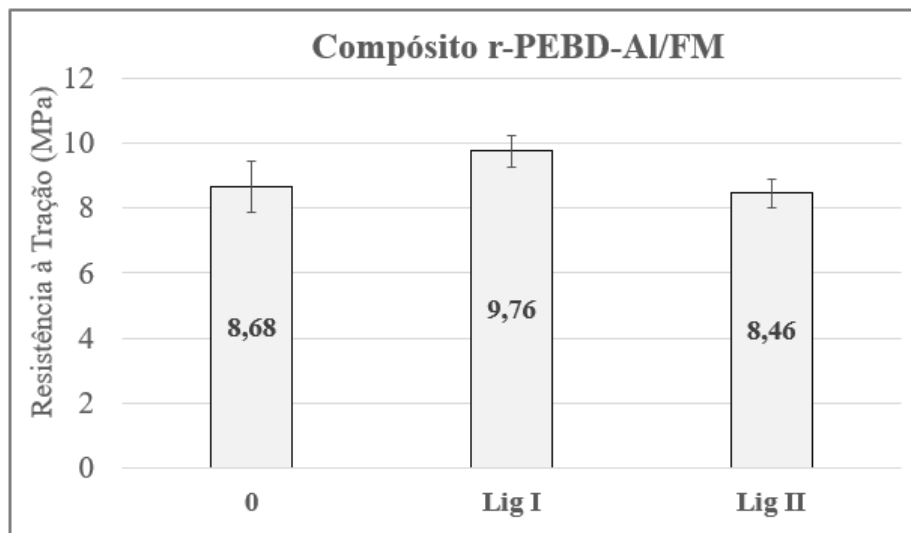


Figura 7: Resistência à tração na ruptura dos compósitos avaliados.

A Figura 8 apresenta o alongamento na ruptura dos compósitos avaliados. Os compósitos 0, Lig I e Lig II apresentaram valores distintos entre si. Os resultados encontrados para alongamento dos compósitos estão condizentes com os dados encontrados na literatura, onde compósitos com maiores módulos de elasticidade apresentam menores valores de alongamento na ruptura (JESUS, *et al.*, 2015; PETROUDY, 2017). Assim, o compósito Lig II foi o que apresentou maior valor de alongamento, como previsto, uma vez que foi o que apresentou menor módulo elástico.

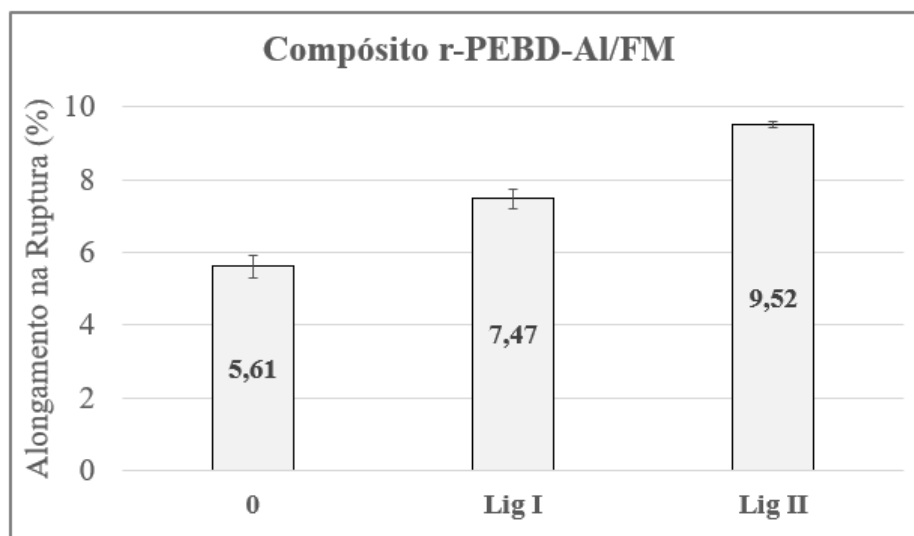


Figura 8: Alongamento na ruptura dos compósitos avaliados.

Na Figura 9 pode-se verificar os resultados de tenacidade dos compósitos estudados. O compósito 0 apresentou diferença significativa em relação à Lig I e Lig II. Os compósitos Lig I e Lig II não apresentaram diferenças significativas entre si e mostraram valores superiores ao compósito 0. Segundo Cândido *et al.* (2012) a capacidade de absorção de energia e tenacidade do compósito são otimizadas pelos mecanismos de molhabilidade e adesão fibra/matriz. Assim, o aumento de aproximadamente 38% e 27% na tenacidade para a Lig I e Lig II, respectivamente, em relação à 0 poderia indicar uma melhoria na adesão fibra/matriz nesses compósitos causada pelas ligninas que poderiam estar atuando como agente de acoplamento.

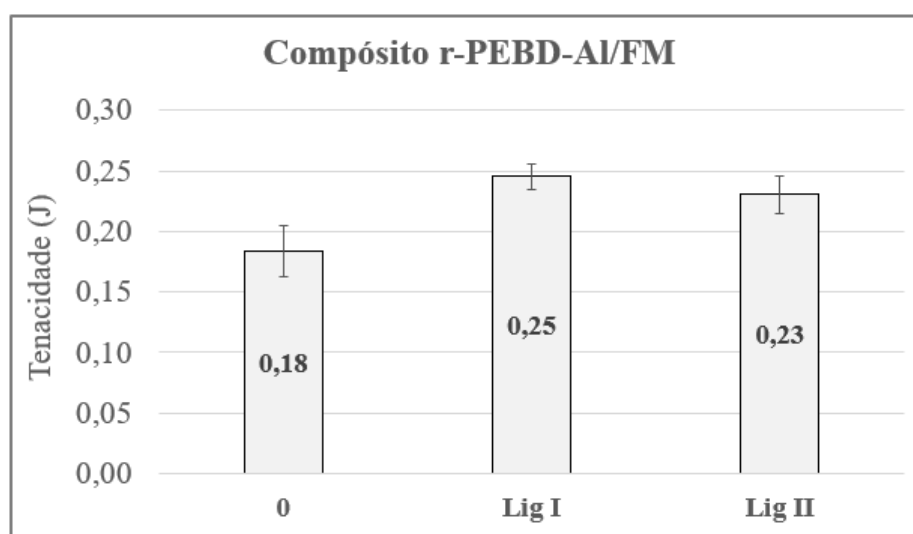


Figura 9: Tenacidade dos compósitos avaliados.

Resistência ao Impacto

Na Figura 10, verifica-se que, em relação ao resultado de resistência ao Impacto Charpy, o compósito 0 não apresentou diferença estatisticamente significativa em relação à Lig I e Lig II, porém entre as Lig I e Lig II verificou-se que a Lig II foi inferior em relação à Lig I. Segundo Carvalho *et al.* (2020), a pobre distribuição da fase reforço na matriz pode ocasionar aglomerados que atuam como concentradores de tensão, formando fissuras que reduzem a energia absorvida no ensaio de impacto. As letras em itálico de cada coluna do gráfico representam o teste de Tukey.

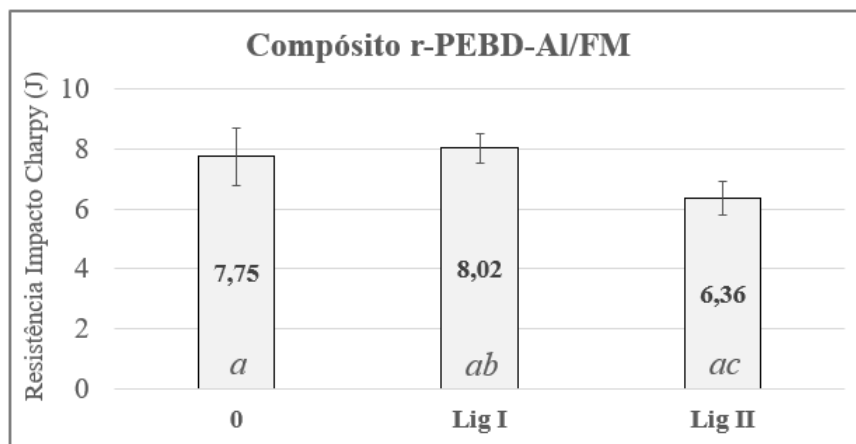


Figura 10: Resistência ao impacto Charpy dos compósitos avaliados.

Densidade

Na Figura 8 são apresentados os resultados de densidade dos compósitos avaliados. Com base no valor encontrado de densidade para os compósitos, verifica-se que a Lig II foi a que apresentou maior densidade, o que poderia justificar a ocorrência de aglomerados e seu menor valor para a resistência ao impacto. Ainda, conforme a Figura 11 os compósitos 0 e Lig I não apresentaram valores estatisticamente distintos entre si.

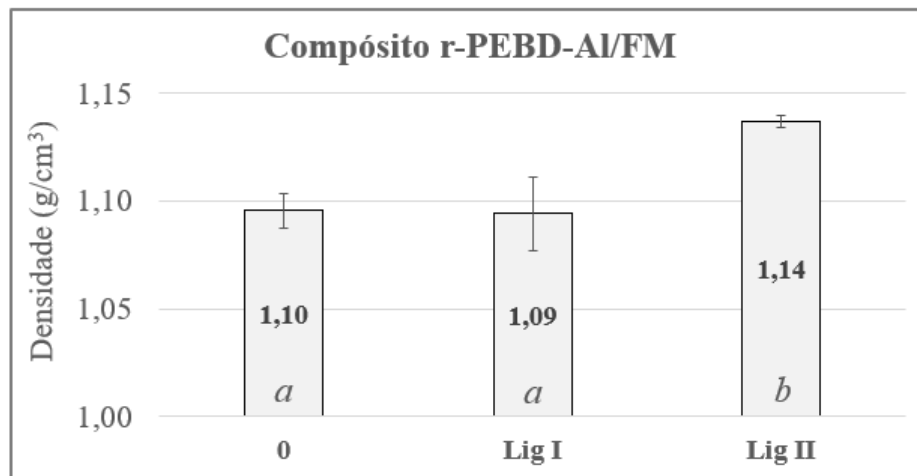


Figura 11: Densidade dos compósitos avaliados.

Temperatura de Deflexão Térmica

Na Figura 12 é apresentado os resultados de temperatura de deflexão térmica (HDT) dos compósitos. Conforme Jesus *et al.* (2019), a HDT representa a temperatura máxima que um material submetido a um determinado esforço permanece sem sofrer deformação, sendo portanto um importante ensaio em compósitos, pois a partir dele determina-se a temperatura máxima de trabalho. Assim, conforme resultados da Figura 12 e pelas análises estatísticas, verificou-se que os compósitos Lig I e Lig II não apresentaram diferenças estatisticamente significativas quando comparadas entre si e ao compósito referencial 0. Desse modo, a substituição de 5% em massa de polímero de fonte petroquímica por um polímero natural não afeta as propriedades térmicas do compósito final.

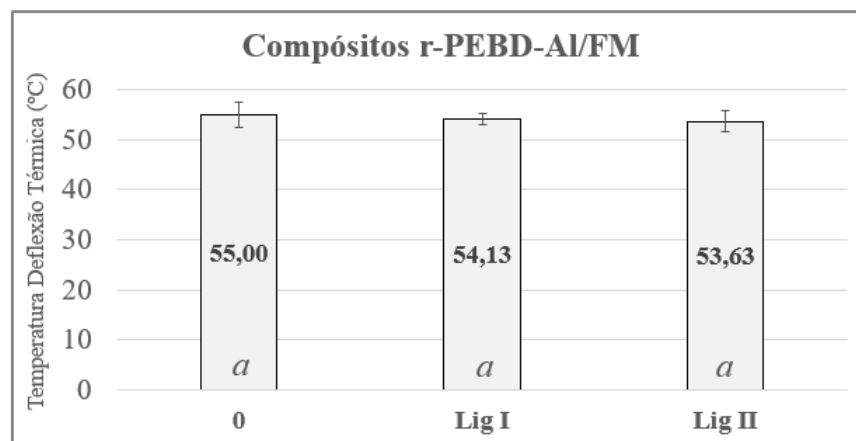


Figura 12: Temperatura de deflexão térmica dos compósitos avaliados.

Considerações finais

As amostras de ligninas I e II mostraram-se promissoras como modificadores reológicos em compósitos r-PEBD-Al/FM (70/30 fração mássica), como verificado nos ensaios de MFI. A lignina I pode ter atuado como agente compatibilizante, possibilitando uma melhora na adesão fibra/matriz justificadas pelos resultados superiores para os ensaios mecânicos no compósito Lig I quando comparados aos compósitos Lig II e 0. Isso muito provavelmente deve-se devido sua origem ser a mesma da FM – pinus.

Considerando o viés da sustentabilidade, foi possível substituir uma parcela de material de fonte petroquímica, mesma que de origem reciclada, por um resíduo de fonte vegetal e sem perdas significativas de propriedades. Além disso, as embalagens pós- consumo r-PEBD-Al têm sua aplicação restringida devido a presença de alumínio que atua como carga, dificultando o processo. O uso da lignina como agente de fluxo poderia tornar-se uma alternativa econômica e sustentável para um reaproveitamento mais eficiente dessas embalagens pós-consumo, além de oportunizar um uso mais nobre para o subproduto lignina.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Arteccla Química e ao Lapol (UFRGS) pelas matérias-primas, ensaios realizados, estruturas de laboratórios e equipamentos disponibilizados.

Referências Bibliográficas

- Alexy, P.; Kosíková, B.; Podstránska, G.; 2000. The effect of blending lignin with polyethylene and polypropylene on physical properties. *Polymer*, 41, 4901-4908.
- Anugwon, I.; Lahtela, V.; Kallioinen, M.; Kärki, T.; 2019. Lignin as a functional additive in a biocomposite: Influence on mechanical properties of polylactic acid composites. *Industrial Crops & Products*, 140, 111704.
- Cândido, G.M.; Rezende, M.C.; Donadon, M.V.; Almeida, S.F.M. de; 2012. Fractography of Aeronautical Composite Structures Submitted to Mode I Interlaminar Fracture Toughness Characterization. *Polímeros*, v22,n1, 41-53.
- Carvalho, M.S. de; Azevedo, J.B.; Barbosa, J.D.V.; 2020. Effect of the melt flow index of an HDPE matrix on the properties of composites with wood particles. *Polymer Testing*, 106678.
- Cerqueira, M.H. de; 2006. Processamento do compósito LDPE/Al proveniente da reciclagem de embalagens cartonadas e desenvolvimento de suas modificações com fibras de madeira. Dissertação de mestrado, Universidade de São Carlos, 96p.
- Cesariano, I.; Dias, O.A.T.; Negrão, D.R.; Rocha, L.L.N.; Leão, A.L.; 2019. High-density green polyethylene biocomposite reinforced with cellulose fibers and using lignin as antioxidant. *Journal of Composite Science*, 3, 24.

- Georgiopoulou, I.; Pappa, G.D.; Vouyiouka, S.N.; Magoulas, K.; 2021. Recycling of post-consumer multilayer Tetra Pak® packaging with the selective dissolution-precipitation process. *Resources, Conservation & Recycling*; 165, 105268.
- Guilhen, A.; Gadioli, R.; Fernandes, F.C.; Waldman, W.R.; De Paoli, M.A.; 2017. High-density green polyethylene biocomposite reinforced with cellulose fibers and using lignin as antioxidant. *Journal of Applied Polymer*, 134, 45219.
- Jesus, L.C.; Luz, S.M.; Leão, R.M.; Zattera, A.J.; Amico, S.C.; 2015. Propriedades mecânicas de compósitos de poliestireno reforçado com celulose de bagaço de cana. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia*, v1,n1.
- Jesus, L.C.; Luz, S.M.; Leão, R.M.; Zattera, A.J.; Amico, S.C.; 2019. Comportamento térmico de compósitos de poliestireno reforçado com celulose de bagaço de cana. *Revista Matéria*, v23, n03.
- Kordkheili, H.Y.; Pizzi, A.; 2020. Ionic liquid- modified lignin as a bio-coupling agent for natural fiber-recycled polypropylene composites. *Composites Part B*, 181, 107587.
- Lee, S.; Trimi, S.; 2021. Convergence innovation in the digital age and in the COVID-19 pandemic crisis. *Journal of Business Research*, 123, 14-22.
- Lemos, A.L. de; Pires, P.G.P.; Albuquerque, M.L. de; Botaro; V.R.; Paiva, J.M.F. de; Domingues Júnior; N.S.; 2017. Biocomposites reinforced with natural fibers: thermal, morphological and mechanical characterization. *Revista matéria*, v22, n02.
- Lima, N.T.; Buss, P.M.; Sousa, R.P.; 2020. A pandemia de Covid-19: uma crise sanitária e humanitária. *Cadernos de saúde pública*, 36, n7.
- Ma, Y.; 2018. Changing Tetra Pak: from waste to resource. *Science Progress*, 101(2), 161-170.
- Miléo, P.C.; 2015. Estudo do uso de ligninas como agente compatibilizante em compósitos de polipropileno reforçados com celulose de bagaço e palha de cana-de-açúcar. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 199p.
- Petroudy, S.R.D.; 2017. Physical and mechanical properties of natural fibers. *Advanced High Strength Natural Fiber Composites in Construction*, 3.
- Platnieks, O.; Barkane, A.; Ijudina, N.; Gaidukova, G.; Thakur, V.K.; Gaidukovs, S.; 2020. Sustainable tetra pak recycled cellulose / Poly(Butylene succinate) based woody-like composites for a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 207, 122321.
- Pozo, C; Martín, A. Galán; Borda, D. Cortés; Pardo, M. Sales; Azapagic, A.; Guimerà, R.; Gosálbez, G. Guillén; 2020. Reducing global environmental inequality: determining regional quotas for environmental burdens through systems optimization. *Journal of Cleaner Production*, 270, 121828.
- Robertson, G.L.; 2021. Recycling of Aseptic Beverage Cartons: A Review. *Recycling*, 6, 20.
- Sakai, H.; Kuroda, K.; Tsukegi, T.; Ogoshi, T.; Ninomiya, K.; Takahashi, K.; 2018. Butylated lignin as a compatibilizing agent for polypropylene-based carbon fiber-reinforced plastics. *Polymer Journal*, 50, 997-1002.
- Yan, Q.; Arango, R.; Li, J.; Cai, Z.; 2021. Fabrication and characterization of carbon foams using 100% Kraft lignin. *Materials and Design*, 201, 109460.

PAPEL DOS CATADORES DE RESÍDUOS NA LIXEIRA MUNICIPAL DE MOÇÂMEDES

| ID 19201 |

1Aldino Miguel Francisco, 2Emídio António Francisco Seculo, 3Jandira Kuti de Oliveira Domingos

1Universidade Estadual Paulista, e-mail: aldino.francisco@unesp.br; 2Universidade Nova de Lisboa, e-mail: e.seculo@campu.fct.unl.pt; 3Universidade Madume Ya Ndemufayio, jandiradomingos@esptn.umn.ed.ae

Palavras-chave: catadores de resíduos; resíduos sólidos; cooperativas de catadores.

Resumo

Este artigo discute o papel dos catadores no reaproveitamento de resíduos sólidos na lixeira municipal de Moçâmedes. Os principais métodos foram a análise documental, pesquisa bibliográfica, levantamento fotográfico e observação científica. Aplicou-se inquérito por questionários a 30 catadores de resíduos sólidos encontrados na lixeira municipal, fez-se a sistematização e análise dos resultados do material qualitativo dos inquéritos com auxílio a estatística descritiva e percentual. Os catadores possuem um grau de escolaridade muito baixo, fator que contribuiu no desemprego e na recolha de resíduos para a sua sobrevivência. Os tipos de resíduos sólidos mais aproveitados são vidro, plástico e metal, que têm como destino a venda para empresas de reutilização/reciclagem da Huíla, Benguela e a capital Luanda. Os catadores de resíduos sólidos contribuem de algum modo para um gerenciamento sustentável do ciclo de vida dos resíduos, desviando parte de resíduos que seriam descartados, para o sistema produtivo, reduzindo assim o volume de lixo e a extração da matéria-prima virgem da natureza. Observou-se o não uso de equipamentos de higiene e segurança, existência de crianças e idosos como catadores e exposição direta com todas as classes dos resíduos. Para melhor valorização desta atividade, sugeriu-se a construção de usinas de triagem, de compostagem, coleta seletiva, criação de cooperativas de catadores de resíduos sólidos, com vista a uma melhor inclusão.

Introdução

Do total de lixo gerado nos centros urbanos, calcula-se que algo entre 35 e 45 % do que vai para os aterros sanitários ou lixeiras, são compostos por materiais não degradáveis que podem ser

reaproveitados. A continuar neste ritmo acelerado de geração de resíduos, a montanha de lixo sobre a Terra em 2050 deverá chegar a 1,5 trilhão de toneladas (MACHADO, 2003).

Em muitos países, e Angola não é exceção, a produção dos resíduos tem crescido em função do aumento dos padrões de consumo, da produção e do crescimento económico e populacional (Decreto Presidencial n.º192/12 de 30 de Agosto, Plano Estratégico de Resíduos Urbanos, PESGRU) (ANGOLA, 2012a).

Os resíduos quando não bem aproveitados representam perdas incalculáveis de materiais e de energia. Ao reaproveitarmos corretamente os materiais, estaremos a aumentar o seu tempo de vida no circuito de consumo. Para ALENCAR (2009) o inadequado gerenciamento também tem contribuído de forma significativa para o agravamento de problemas sociais urbanos ao induzir, por exemplo, que milhares de pessoas sobrevivam da captação de materiais recicláveis existentes em lixeiras a céu aberto.

Maribondo *et al*, (1999), apresentam uma lista de projetos de valorização dos resíduos desde as usinas de compostagem, usinas de reciclagem e as usinas de triagem de resíduos. Para CARVALHO, (2015) as estações de triagem permitem a compactação e enfardamento de resíduos, facilitando o seu transporte e posterior valorização.

Estações de triagem são instalações onde os resíduos são separados, mediante processos manuais ou mecânicos, em materiais constituintes destinados à valorização ou a outras operações de gestão, Decreto Presidencial da República n.º 190/12 de 24 de Agosto (ANGOLA, 2012b). O que poder ser um importante local para inclusão dos catadores de resíduos.

As estações de triagem prestam grande contribuição à sociedade e ao meio ambiente, pois além de aumentar a vida útil dos aterros e promover a inclusão social dos trabalhadores envolvidos, ajudam na economia de recursos naturais (COELHO; TOCCHETTO; JÚNIOR, 2014).

Em Angola, a concentração de resíduos em lugares indevidos é um problema generalizado em todo o território, tanto nos centros urbanos e suas periferias, como no meio rural [Ministério do Urbanismo e Ambiente (MINUA), 2006]. De acordo com os dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2014) o lixo é deitado ao ar livre por 59 por cento dos agregados familiares residentes nas áreas urbanas e 87 por cento dos residentes nas áreas rurais. Com base no Decreto Presidencial n.º 160/12, de 24 de Agosto, que estabelece o Regime Geral de Gestão de Resíduos, refere no artigo 3º a definição de Resíduos como sendo substâncias ou objectos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção de ou obrigação legal de se desfazer (ANGOLA, 2012c).

Os resíduos são substâncias ou objectos, o que implica dizer que podem se apresentar em diferentes estados físicos (sólidos, líquidos e gasosos). Nesta ordem de ideias a ABNT NBR 10004 (2004, p.1) a Resíduos sólidos: Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades

de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Sendo os resíduos sólidos o interesse desta pesquisa.

Estes resíduos são, basicamente, sobras de alimentos, papéis, cartão, plásticos, trapos, madeiras, latas, vidros, lamas, gases, vapores, poeiras, detergentes e outras substâncias descartadas de forma consciente [Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABESA), 1999]. O conceito de gestão de resíduos sólidos abrange actividades referentes à tomada de decisões estratégicas com relação aos aspectos institucionais, administrativos, operacionais, financeiros e ambientais, enfim à organização do setor para esse fim, envolvendo políticas, instrumentos e meios (ABESA, 2006).

Neste contexto, objetiva-se com este trabalho abordar o papel dos catadores no reaproveitamento de resíduos sólidos na lixeira municipal de Moçâmedes e a sua inclusão social por via da criação de cooperativas de catadores dando contributo nas usinas de triagem, compostagem e aterros sanitários.

Material e Métodos

Sendo o estudo de natureza caso de estudo, procedeu-se várias visitas de observação no lixão, onde identificou-se o problema no campo e as actividades desempenhadas pelos catadores de resíduos. Para compreensão do problema, recorreu-se a uma abordagem quantitativa e qualitativa. A pesquisa qualitativa refere-se ao levantamento de informações, análise e apresentação dos dados através de tabelas, gráficos e figuras.

A elaboração deste estudo, decorreu num âmbito temporal de seis meses, do ano de 2017. Neste contexto, adoptou-se uma abordagem assente em 5 fontes fundamentais de informações, permitindo a recolha cuidadosa dos dados de base necessária para o estudo, garantindo assim a qualidade das discussões, conclusões e sugestões, nomeadamente: Levantamento bibliográfico; Análise documental; inquéritos (entrevistas e questionários) e; material iconográfico.

a) Análise documental:

No que tange a análise documental, foram consultados documentos tais como o Decretos Presidenciais e relatórios: Decreto Presidencial n.º190/12 de 24 de Agosto sobre Gestão de Resíduos e Decreto Presidencial n.º196/12 de 30 de Agosto sobre Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Urbanos, denominado PESGRU; Decreto Presidencial n.º 160/12, de 24 de Agosto, que estabelece o Regime Geral de Gestão de Resíduos (ANGOLA, 2012c); Documento do Ministério do Ambiente (Relatório do estado do Ambiente em Angola 2006); e ABNT NBR 10004 de 2004, sobre classificação

dos resíduos sólidos; Lei 12.305/10 estabelece como um dos seus instrumentos, o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou outras formas de organização de catadores de materiais recicláveis).

b) Revisão bibliográfica:

Foram consultados obras nacionais e internacionais. Nomeadamente, livros; artigos de revistas científicas relatórios e, dissertações com aos temas com abordagem ao reaproveitamento de resíduos e o papel dos catadores de resíduos sólidos.

c) Inquéritos:

Um dos mecanismos de recolha de informação consistiu no envio de um inquérito estruturado sobre a gestão de resíduos na cidade ao responsável dos serviços sanitários do município de Moçâmedes; da Juventude Ecológica de Angola (JEA) do Namibe e da Associação dos Defensores do Ambiente (ADA), encarregues de assegurar o seu preenchimento. Também aplicou-se inquéritos por questionários com questões fechadas e abertas aos catadores de resíduos, abordadas variáveis como nível de escolaridade, ocupação profissional, tipo de resíduos que mais captam, distinto que dão aos resíduos dentre outras questões. Resaltando o método quantitativo, permitiu quantificar as informações recolhidas no campo por meio de tabelas e gráficos. Estas informações foram recolhidas aplicando a técnica de entrevistas. Já o qualitativo, foi empregue na análise e seleção das informações recolhidas no campo e na literatura recolhida sobre o estudo em referência.

d) Material iconográfico:

Foram recolhidas imagens georeferenciadas do local de estudos, através do *google earth* e *in loco*, para melhor descrever e o contextualizar o problema da pesquisa.

e) Observação científica:

Fez-se o acompanhamento dos veículos compactadoras de resíduos, desde os distintos pontos de coleta nas arterias da cidade, até o encaminhamento final, deposito dos resíduos, estando no lixão, trabalhou-se com os catadores. A técnica de amostragem empregue foi não probabilística por conveniência, pois a escolha das unidades da amostra foram decididas pelos pesquisadores.

Área de Estudo

A presente pesquisa foi realizada na Lixeira Municipal de Moçâmedes, localizada no município de Moçâmedes província do Namibe, dista a cerca de 9 km da sede capital Moçâmedes, há cinco

metros da Estrada Nacional (EN-100), do lado esquerdo no sentido Namibe-Lubango. A Lixeira possui uma área de 50.000 m² (5 hectares de terra), nas seguintes coordenadas: Latitude 15°07'54.08''S e Longitude de 12°12'43.93''L (Figura 1). Segundo INE, 2014 a cidade de Moçâmedes possui uma população de 282.056 habitantes.

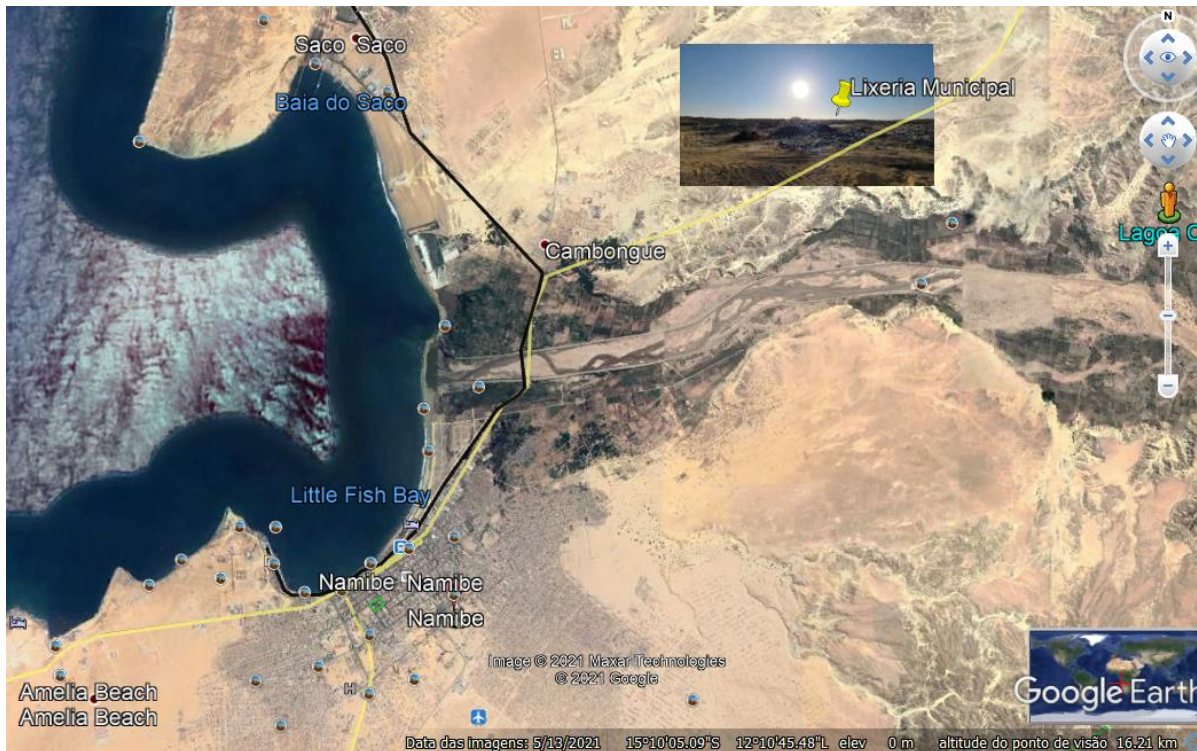


Figura 1: Localização da Lixeira Municipal de Moçâmedes.

Fonte: Google Earth, adaptado Autores (2021)

Resultados e Discussão

Resultados da Entrevista

De acordo com o Chefe do Departamento dos Serviços Comunitários da Administração Municipal de Moçâmedes, Sr. Manuel Mbilinganga, é da responsabilidade da Administração Municipal, recolher os RSU da cidade e das zonas suburbanas e transportá-las até a lixeira municipal. A maioria das lixeiras não se encontra vedada, estas são um risco sanitário para as populações que nelas procuram artigos que possam ter algum valor económico.



Figura 2: Recolha e deposição final dos RSU na lixeira municipal.

Fonte: Autores (2017)

Com base no PESGRU as Administrações Municipais, relativamente à gestão de resíduos, são responsáveis por garantir a recolha e o tratamento do lixo (Decreto Presidencial n.º 196/12 de 30 de Agosto).

Os entrevistados foram unânimes em considerar que as dificuldades ligadas a gestão dos resíduos estão relacionadas com questões financeiras, recursos humanos, meios físicos e tecnológicos. A falta destes recursos, contribui significativamente na má gestão dos resíduos e agrava os problemas de saúde pública. Por outro lado, a inexistência de projetos destinados a valorização resíduos, contribuem no aumento de catadores nas lixeiras de Moçâmedes.

Entrevista aos catadores de resíduos

A Tabela 1, indica o número de genérico dos participantes à pesquisa: Sendo 19 homens e 11 mulheres, e dos quais 16 indivíduos eram menores de 17 anos de idade (Figura 3, imagem C), representando maior preocupação atendendo os riscos que a atividade acarreta.

Tabela 1: Idade dos captadores.

Idade	Menores de 12	12 a 17	Maiores de 17
Homens	4	6	9
Mulheres	3	3	5
Total	7	9	14

Fonte: Autores (2017)

Os homens possuem maior nível de escolaridade em relação as senhoras, com um total de 19 indivíduos, apesar disso, o nível de instrução de ambos os sexos é considerado baixo, pois estes só possuíam até ao ensino primário (nível básico de instrução) (Tabela 2).

Tabela 2: Escolaridade.

Escolaridade	Homens	Mulheres	Total
Sem instrução	3	8	11
Ensino pré-escolar	4	0	4
Ensino primário	12	3	15
Ensino secundário do I Ciclo	0	0	0
Ensino secundário do II Ciclo	0	0	0
Ensino Superior	0	0	0

Fonte: Autores (2017)

Na Figura 3 imagens A e C, observa-se vários amontoados de resíduos preparados para trocas ou vendas. Ainda na Figura 3 imagem B, observa-se um idoso que exerce a atividade de catador de resíduos.



Figura 3: Entrevista e observação da atividade dos catadores.

Fonte: Autor (2017).

Quanto a questão se já ouviram falar de estação de triagem 30 elementos (100%) disseram que nunca ouviram falar. A maioria afirmaram que gostariam de trabalhar numa usina.

A Figura 4 apresenta os resultados da questão dos resíduos sólidos mais captados na lixeira. Vidro com 60%, plásticos com 20% e metal com 14% das respostas.

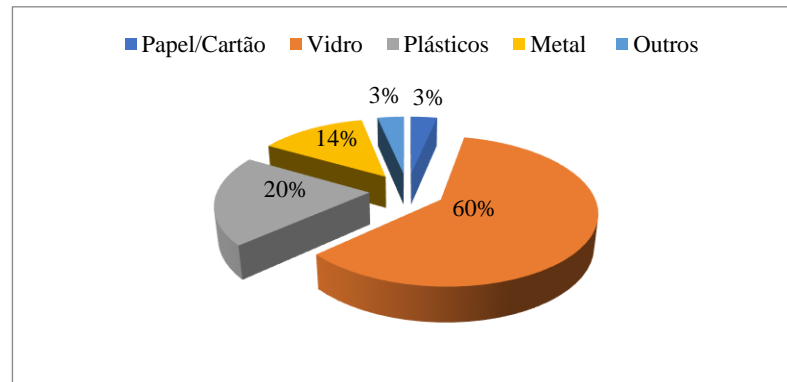


Figura 4: Resíduos sólidos que os catadores mais captam nas lixeiras.

Fonte: Autor (2017).

Figura 5 demonstra algumas atividades dos catadores: amontoados de alumínio e embalagens de garrafas de vidro. Catador extraíndo cobres em baterias.



Figura 5: Alguns dos resíduos mais procurados na lixeira municipal.

Fonte: Autor (2017).

Para facilitar os trabalhos de recolha dos resíduos muitos catadores fixaram residência junto a lixeira, alguns à 2 km da mesma no bairro Macala Tchipata (Figura 6).



Figura 6: Residencia dos catadores (Bairro Macala Tchipati).

Fonte: Autor (2017).

Quanto a ocupação profissional, todos os catadores entrevistados são desempregados, por isso optaram por esta actividade para poderem sobreviver. Alguns disseram que nunca tiveram emprego, outros disseram que já trabalharam como empregados de limpeza, pedreiros e aguarda, e infelizmente foram despedidos dos empregos.

Na figura 7 ilustra os resultados da questão “Qual o destino que dão aos resíduos capturados no lixão”. A maioria dos inquiridos, 57% indivíduos, disseram que é para a venda, 23% disseram para trocas e 17% afirmaram para consumo próprio.

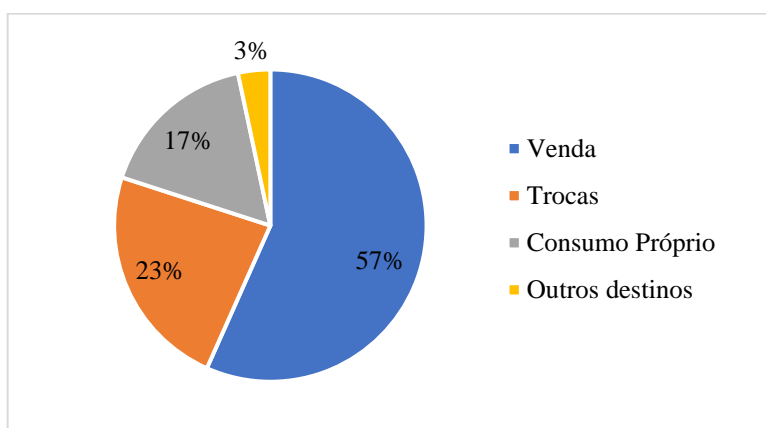


Figura 7: Destino a que dão aos resíduos capturados na lixeira.

Fonte: Autores (2017).

Sobre o destino dos resíduos capturados, destinados a venda, constatou-se que grande parte dos produtos como embalagens de garrafas de vidros, pedaços de plásticos, cobre, alumínio e ferro,

são amontoados em grandes quantidades, têm como destinos preferencias as províncias da Huíla, Benguela e Luanda, que possuem industrias que dão o a utilidade devida a estes resíduos.

Observou-se que dos entrevistados, ninguém usava equipamento de protecção individual. Questionou-se sobre os conhecimentos dos riscos de saúde a que estão expostos, obtivemos os seguintes resultados: 25 indivíduos sabiam dos riscos e apenas 5 indivíduos não sabiam (Tabela 3).

Tabela 3: Conhecimento dos riscos de saúde a que estão expostos.

Designação	Homens	Mulheres	Total
Sabem	3	2	5
Não sabem	17	8	25

Fonte: Autores (2017).

Discussão

De acordo com estudos apresentados por Souza, Silva e Barbosa (2014); Coelho; Tocchetto e Júnior, 2014), afirmam que há uma forte ligação entre a opção em ser catador com a carência de emprego, baixo nível de escolaridade e baixa remuneração. Heine (2012, p. 10); Souza, Silva e Barbosa (2014, p. 3009), concordam que os catadores são atores indiscutível e detêm posição fundamental na gestão de resíduos sólidos no Brasil. As leis angolanas ainda não criam todas as condições para a formalização laboral da atividade de catador de resíduos, daí que se pode ter em conta a experiência Brasileira (a Lei 12.305/10 estabelece como um dos seus instrumentos, o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou outras formas de organização de catadores de materiais recicláveis).

Os resultados demonstraram existência de problemas como exposição direta dos catadores com os resíduos, falta de usos de equipamentos de higiene e segurança e a frequência de crianças no lixão. Os fumos e os gases provenientes das queimadas são prejudiciais à saúde, porém, o Decreto Presidencial 190/12 de 24 Agosto, estabelece que, as substâncias tóxicas e infecciosas, que por ingestão, inalação via cutânea podem prejudicar a saúde humana, causar lesões graves ou morte. A revisão bibliográfica, os inquéritos, a observação e o levantamento fotográfico foram suficientes para induzirmos a veracidade do alcance dos objetivos da pesquisa.

Propostas para melhoria da atividade de catação de resíduos em Moçâmedes

Sendo que na província do Namibe não possui usina de estações de triagem, usina de compostagem e aterros sanitários, ligados a fraca cultura da coleta seletiva. E a informalidade da

atividade de catação de resíduos e destino final dos resíduos. Baseadas nas observações feitas no local da pesquisa, nas sugestões dos peritos entrevistados e das orientações normativas nacionais Decreto Presidencial 190/12 de 24 Agosto, sobre Regulamento de Gestão de Resíduos; Decreto Presidencial 196/12 de 30 de Agosto, sobre PEGRSU; Documento do Ministério do Ambiente (Relatório do estado do Ambiente em Angola 2006); Decreto Presidencial n.º 160/12, de 24 de Agosto, que estabelece o Regime Geral de Gestão de Resíduos e a lei Brasileira, Lei 12.305/10 estabelece como um dos seus instrumentos, o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou outras formas de organização dos catadores de materiais recicláveis. Atendendo as orientações expostas propusemos:

- Criação de cooperativas de catadores a fim de serem enquadrados nas usinas, garantindo a segurança social e eventuais danos humanos;
- Ser reconhecido e valorizado os serviços ambientais prestados pelos catadores;
- Contribuição dos catadores (mão de obra) para o alcance dos objetivos do PESGRU, a lei estabelece que todos os municípios encerrem as lixeiras até Agosto de 2014;
- Maior inclusão social das classes sociais.

Considerações Finais

O trabalho desenvolvido pelos catadores, diminui a quantidade de resíduos sólidos dispostos na lixeira municipal; diminui a demanda por recursos naturais, e fomenta a cadeia produtiva das indústrias recicladoras com geração de emprego. Mas, para que possam continuar contribuindo de forma digna na sociedade, torna-se necessária a criação de cooperativas de catadores com vista a formalizar a atividades em Angola, trabalhando em usinas de triagem, compostagem e aterros sanitários.

Agradecimentos

Os Autores agradecem a Administração Municipal de Moçâmedes (Serviços Comunitários) pela disponibilidade e oportunidade em estudar a lixeira municipal.

Referências Bibliográficas

ALENCAR. B. S. 2009. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Uma abordagem estratégica e socioambiental. Coordenação Institucional: Adherbal Regis /Antonio Bunchaft. Realização Bainema. Luanda.

- ANGOLA. 2012a. Decreto Presidencial n.º196/12 de 30 de Agosto, Plano Estratégico de Resíduos Urbanos, PESGRU. Diário da República I Série. N.º168 (pp. 4788-4867). Luanda.
- ANGOLA. 2012b. Decreto Presidencial n.º 190/12, de 24 de Agosto, que estabelece o Regulamento de Gestão de Resíduos Urbanos. Diário da República I Série. N.º164 (012-08-24). Luanda.
- ANGOLA. 2012c. Decreto Presidencial n.º 160/12, de 24 de Agosto, que estabelece o Regime Geral de Gestão de Resíduos. Luanda.
- ANGOLA. Ministério do Urbanismo e Ambiente. (2006). Programa de investimento Ambiental: Relatório do Estado Geral do Ambiente em Angola. Luanda.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABESA. 1999. Metodologias e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização dos Resíduos Sólidos Urbanos (1ª ed). Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. ABESA. 2006. Resíduos Sólidos Urbanos. Ceará, Brasil. Disponível em: <http://www.cchla.ufrn.br/geoesp/arquivos/sergio/TEXTOS/APOSTILA.pdf>. Acessado em: 1 Jan. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004:2004. Resíduos sólidos-Classificação. Segunda edição. 31 Mai. 2004. Rio de Janeiro – RJ.
- BRASIL. Lei n. 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 Jun. 2021.
- Carvalho, J. M. O. 2015. Tecnosistemas: Estações e Ecocentro. Disponível em: <http://docslide.com.br/documents/tecnossistemas-estacoes-e-ecocentro.html>
<http://www.fundacentro.gov.br/Arquivos/sis/EventoPortal/AnexoPalestraEvento/Apres%20Semin%C3%A1rio%20Catadore%202014%20Evelyn.pdf>. Acessado em: 20 Fev. 2017.
- Coelho, J. P.; Tocchetto, M. R. L.; Júnior, E. L. M.; 2014. Centrais de triagem de resíduos (CTR): uma solução para o gerenciamento em municípios de pequeno porte.
- Heine, Maria L. F. 2012. A Importância dos Catadores de Materiais Recicláveis na Cornucópia do Lixo. V Colóquio Internacional “Educação e Contemporaneidade”. São Cristóvão. 20 a 22 de Set. 2012. SE/Brasil.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (INE). 2014. Resultados Definitivos do Recenseamento Geral da População e da Habitação em Angola. Luanda.
- Machado, V. C. P. (2003). Apresentação e Análise dos Programas de Tratamento dos Resíduos Sólidos do Município de Valongo. (Relatório de Estágio). Universidade do Porto. Porto.
- Maribondo, J. F., Oliveira, N. V., Neto, J. T. P., & Back, N. 1999. Concepção de um projecto de unidade de processamento de resíduos sólidos domiciliares, destinado a pequenos municípios. Brasil. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/1999/pdf/AAAEFD.pdf>.
- Souza, M. A. de; Silva, M. M. P. da; Barbosa, M. F. B. 2014. Os catadores de materiais recicláveis e sua luta pela inclusão e reconhecimento social no período de 1980 a 2013. Revista Monografias Ambientais - REMOA v.13, n.5, dez. 2014, p.3998-4010.

FABRICAÇÃO DE NÃOTECIDO COM EMPREGO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CONFECÇÃO

| ID 19280 |

1Giane Ramos Pereira, 2Paulo Sergio Deucher, 3Prof^a. Dr^a. Ana Julia Dal Forno, 4Prof^a. Dr^a Andrea C. Krause Bierhalz, 5Prof^a. Dr^a Fernanda Steffens, 6Prof^a. Dr^a Catia R. Lange de Aguiar

1Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau, Departamento de Engenharia Têxtil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil (PGETEX), e-mail: giane.pereiral@posgrad.ufsc.br; 2Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau, Departamento de Engenharia Têxtil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil (PGETEX), e-mail: paulo.deucher@posgrad.ufsc.br; 3Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau, Departamento de Engenharia Têxtil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil (PGETEX), e-mail: ana.forno@ufsc.br; 4Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau, Departamento de Engenharia Têxtil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil (PGETEX), e-mail: andrea.krause@ufsc.br; 5Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau, Departamento de Engenharia Têxtil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil (PGETEX), e-mail: fernanda.steffens@ufsc.br; 6Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau, Departamento de Engenharia Têxtil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil (PGETEX), e-mail: catia.lange@ufsc.br

Palavras-chave: Resíduo Sólido Têxtil; Sustentabilidade; Transformação.

Resumo

Atualmente, o modelo linear de consumo é largamente aplicado, onde matérias-primas virgens são vendidas, utilizadas e descartadas, resultando em toneladas de resíduos têxteis sólidos provenientes dos processos de fabricação têxteis, que podem ser aproveitados para finalidades nobres. Promover um descarte adequado ou o reuso de resíduos dentro de uma empresa têxtil deve ser compreendido como uma tarefa empresarial para o equilíbrio correto do ecossistema e, conseqüentemente, uma oportunidade de crescimento mercadológico. Essa proposta visa um menor impacto ambiental e um aproveitamento máximo de recursos dentro do próprio ciclo de vida, assim como uma conscientização acerca dos problemas ambientais e de consumismo. Os processos industriais causam, inevitavelmente, impactos ao ambiente, que podem ser no solo, no ar ou na água.

Nessa vertente, este estudo traz propostas para a gestão de resíduos sólidos têxteis na indústria, com a inclusão de ações de reaproveitamento de resíduos sólidos, com uma visão abrangente do ciclo de produção. Dessa forma, pretende-se alcançar a sustentabilidade continuada na indústria, cujo próximo passo compõe a implementação de medidas para a diminuição e prevenção de seus resíduos. Ao reconhecer que as etapas relacionadas a confecção, como: corte, costura, pesponto e consolidação das fibras, resultam em toneladas de resíduos têxteis passíveis de prejuízo ao meio ambiente, trabalhou-se na proposição de ações que evitem o descarte deste material, com análises de soluções que prolonguem a vida útil do produto antes da disposição final. Até o presente momento, os resíduos gerados no processo produtivo não sofrem reuso na empresa. Para que seja possível a reutilização na indústria em estudo, este resíduo será beneficiado, ou seja, os resíduos sólidos provenientes dos setores produtivos, oriundos dos processos de confecção de roupa de cama, colcha matelassada, edredom e não tecido passarão pelas etapas de triagem, descaracterização, corte e abertura até ser totalmente desfibrado. Objetiva-se com este estudo, é aplicar o reuso dos resíduos sólidos gerados por uma indústria de confecção de artigos de cama, por meio do desenvolvimento e fabricação de novos produtos aliados aos pilares da sustentabilidade, que são compostos pela economia, meio ambiente e sociedade. O novo produto compõe a fabricação de não tecido composto de fibra de poliéster e fibra desfibrada, esta, oriunda de resíduos gerados pela própria indústria, totalizando um reaproveitamento de resíduos sólidos de aproximadamente 98.288,54 kg/ano, o que representa o reaproveitamento de aproximadamente 43% de todo o resíduo sólido gerado em 1 ano.

Introdução

A sustentabilidade organizacional é um conceito sistêmico, relacionado à continuidade dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade humana. O tema de sustentabilidade apoia-se nos pilares de desenvolvimento social, desenvolvimento ambiental e viabilidade econômica das organizações (VASSALO, 2004).

No conceito de sustentabilidade organizacional ocorre um processo de transformação em que a exploração dos recursos, o destino dos investimentos, os rumos do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional consideram as necessidades das futuras gerações (BUFFARA e PEREIRA, 2003).

Vezzoli (2009) afirma que sustentabilidade é projetar produtos com baixo impacto ambiental e com uma elevada qualidade social, analisando os critérios, métodos e os investimentos. O conceito de sustentabilidade surge, portanto, como uma tentativa de minimizar as crises ecológicas e sociais e como condição para manutenção e perpetuação dos recursos das gerações futuras. No entanto,

torna-se necessária uma ampla conscientização das sociedades para esta temática e isto inclui mudanças radicais na forma de produzir, no consumo e no estilo de vida adotado pela população (Vezzoli, 2010).

Os processos industriais são vitais para o progresso e o desenvolvimento da humanidade, porém, eles causam inevitavelmente impactos ao ambiente (DHINGRA; KRESS; UPRETI, 2014). A indústria têxtil e sua extensa cadeia produtiva e os insumos utilizados nas etapas de produção desencadeiam uma série de impactos ambientais indesejáveis que podem ser no solo, no ar ou na água, prejudicando direta ou indiretamente os sistemas locais e mundiais nas esferas sociais, econômicas e ambientais.

Para Allwood et al (2006) os impactos ambientais na indústria têxtil estão relacionados com o consumo de energia e ao uso de produtos tóxicos, destacando:

- O consumo de energia elétrica no setor de lavanderia, a produção de matérias-primas, especialmente fibras sintéticas ou artificiais e no cultivo e manufatura de fios provenientes de fibras naturais;
- O uso de produtos químicos tóxicos que podem prejudicar a saúde humana e o ambiente – em particular na produção do algodão convencional;
- Lançamento de produtos químicos nas águas residuais – notadamente no pré-tratamento molhado, tinturaria, acabamentos e lavanderia;
- Resíduos sólidos resultantes da fabricação de fios a partir de fibras naturais, descartados ao final da vida útil de seus produtos.

Nesse contexto, a gestão de resíduos sólidos têxteis torna-se uma necessidade para as indústrias; porém, ainda é pouco praticada. Com a implementação da Lei n.º 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), as indústrias têxteis devem implementar práticas de gestão ambiental adequadas para esses resíduos, incluindo ações de prevenção e precaução que consistem na redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição adequadas, visto que um dos objetivos da PNRS é estimular a adoção de padrões sustentáveis de produção, desenvolvimento de tecnologias limpas e incentivo à indústria da reciclagem, uma vez que o resíduo têxtil é reciclável.

O reaproveitamento de resíduos e o descarte correto são medidas possíveis e podem ser aplicadas pelas indústrias têxteis dentro do conceito de Produção Mais Limpa, para posteriormente implementarem medidas para a diminuição e prevenção de seus resíduos.

Nesta linha de pensamento e ação, a indústria têxtil objeto deste estudo, atuante no mercado com a confecção de artigos para cama e nãotecido de aplicação técnica, propôs soluções a estes

resíduos que atualmente representam uma média aproximada de 19 toneladas por mês, incluindo sobras das etapas de corte, costura, pesponto e consolidação das fibras, composto de aparas, ourelas e refis do processo.

A produção mais limpa se apresenta como uma alternativa que, por meio de uma avaliação técnica, econômica e ambiental no processo produtivo das indústrias, proporciona melhorias contínuas que reduzem os custos de fabricação e, conseqüentemente, maximizam ganhos ao empreendedor. Portanto, a Produção mais Limpa significa a aplicação de uma estratégia econômica, ambiental e técnica, integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos (CNTL, 2003).

Milaré (2011) defende que não é possível atingir o desenvolvimento sustentável se não se proceder de maneira radical para a modificação dos processos produtivos, com a minimização dos resíduos na fonte e adoção de alternativas à disposição final, através de uma educação ambiental permanente ou na elaboração de um plano de gestão integrado com a participação da sociedade (JACOBI; BESEN, 2011; MUELLER; BRINCKMANN; ALMEIDA, 2012).

As diretrizes econômicas, entretanto, ainda estão orientadas para o crescimento e a globalização da economia com a ideia do aumento contínuo do consumo, onde o dinheiro deve circular mais e tudo o que se produz deve ser consumido rapidamente, acarretando desperdício de energia e de matérias-primas. Ao mesmo tempo em que prejudica a situação do planeta, esta orientação meramente econômica promove o despertar quanto ao futuro da humanidade e uma série de pesquisas e documentos foi redigida evidenciando que as atividades do homem estão prejudicando a biosfera e a sua própria vida, de tal forma que em pouco tempo esses danos poderão ser irreversíveis (LERÍPIO, 2001).

Morgan (1996, *apud* TREVISAN; BLOCK; MADRUGA; VENTURINI, 2008, p. 2), ressalta que as organizações são como minis sociedades com os seus próprios padrões de cultura que podem influenciar na sua habilidade em lidar com os desafios ambientais. Diante disso, as organizações, em geral, exercem um papel fundamental na garantia de preservação do meio ambiente.

De acordo com Trevisan, Block, Madruga, Venturi (2008, p. 2), a “[...] responsabilidade socioambiental deixou de ser uma opção para as organizações, ela é uma questão de visão, estratégia e, muitas vezes, de sobrevivência”. Assim sendo, se faz necessário refletir os impactos ambientais, promover o desenvolvimento sustentável e repensar criticamente o processo de ciclo de vida dos produtos para buscar novas respostas criativas e ambientalmente conscientes.

Portanto, ao reconhecer que as etapas relacionadas à confecção (como corte, costura, pesponto) e consolidação das fibras que formam o não tecido, resultam em toneladas de resíduos têxteis, passíveis de prejuízo ao meio ambiente. Neste sentido, a empresa que compõe este trabalho propôs ações para evitar o descarte deste material, através da análise de soluções que prolonguem a vida útil do produto antes da disposição final. Estes resíduos representam uma média aproximada de 19 toneladas por mês, incluindo sobras das etapas supracitadas, composto de aparas, ourelas e refis do processo.

Até o presente momento os resíduos gerados no processo produtivo não sofrem reuso na empresa. Para que seja possível a reutilização na indústria em estudo, este resíduo será beneficiado. Ou seja, os resíduos sólidos provenientes dos setores produtivos, oriundos dos processos de confecção de roupa de cama, colcha matelassada, edredom e não tecido passarão pelas etapas de triagem, descaracterização, corte e abertura até ser totalmente desfibrado. Após ser desfibrado, o material será enfardado.

Objetiva-se com este estudo, aplicar o reuso dos resíduos sólidos gerados por uma indústria de confecção de artigos de cama e banho, por meio do desenvolvimento e fabricação de novos produtos aliados aos pilares da sustentabilidade, que são compostos pela economia, meio ambiente e sociedade.

A estrutura deste artigo contempla seis seções, iniciando com a introdução. A segunda seção apresenta materiais e métodos, que contempla a metodologia empregada para o estudo em uma empresa do Estado de Santa Catarina. A terceira seção se refere à apresentação dos resultados e uma breve discussão dos dados encontrados. A quarta seção apresenta as considerações finais, seguido dos agradecimentos. Por fim, as referências são listadas.

Materiais e Métodos

Nesta seção será apresentado o processo de separação dos resíduos sólidos na indústria de origem, o processo de desfibragem e, por fim, uma proposta de reaproveitamento dos resíduos sólidos por meio de fabricação de não tecido com fibras de poliéster e fibras desfibradas.

Processo de Separação dos Resíduos Sólidos

A primeira etapa do processo é composta pela separação por cores dos resíduos gerados em uma empresa de confecção de artigos para a linha cama e banho, nas etapas de corte, costura,

pesponto e consolidação das fibras, visando separar 100% do resíduo sólido de cor branca do resíduo colorido. Após esta etapa, o resíduo é acondicionado em fardos de aproximadamente 70 kg cada.

Esta empresa utiliza tecidos planos e malhas, em cores tintas e estampadas, cuja composição está descrita no Quadro 1, provenientes da confecção de artigos de cama nos tecidos planos percal 150 fios, percal 180 fios, percal 200 fios, percal 300 fios, meia malha, *plush coral fleece*, *plush flanel fleece*, microfibra, e microfibra para travesseiro.

Quadro1: Tecidos empregados na confecção da linha cama.

Substrato têxtil	Fios	Composição
Tecido plano tinto e estampado	150 fios	100% algodão
Tecido plano tinto e estampado	180 fios	100% algodão
Tecido plano tinto e estampado	180 fios	50% algodão e 50% poliéster
Tecido plano tinto e estampado	200 fios	100% algodão
Tecido plano tinto e estampado	300 fios	100% poliéster
Meia malha	-	100% algodão
Tecido Plush Coral Fleece	-	100% poliéster
Tecido Plush Flanel Fleece	-	100% poliéster
Tecido Microfibra	-	100% poliéster

A Figura 1 representa os tipos de resíduos gerados no processo de fabricação da empresa.

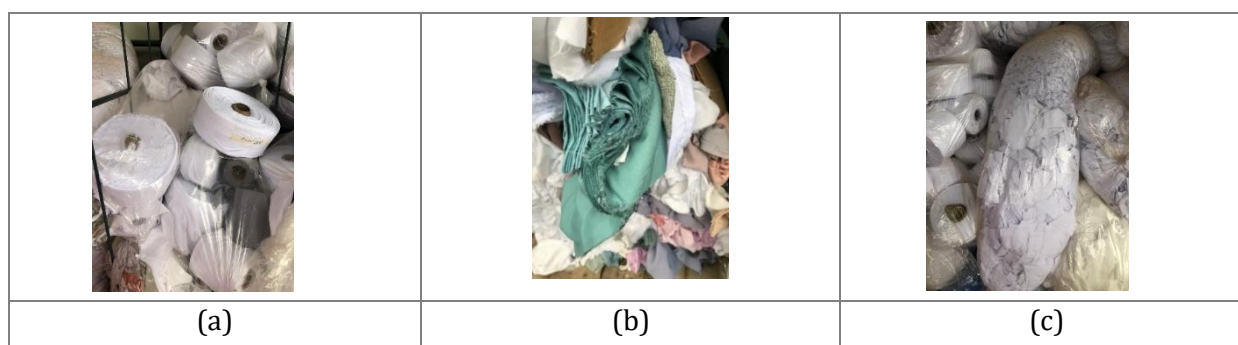


Figura 1: Resíduos gerados no processo de fabricação; (a) refis de tecido plano, (b) resíduos de microfibra, (c) resíduos de meia malha.

A Figura 2 demonstra os resíduos sólidos de cores tintas e estampadas durante o processo de enfardamento e após a estocagem na indústria, para posterior envio ao responsável pelo processo de desfibragem.



Figura 2: Resíduos sólidos têxteis tintos e estampados.

Processo de Desfibragem

Uma empresa terceirizada realiza o processo de desfibragem do resíduo, conforme fluxograma apresentado na Figura 3, com o custo aproximado de R\$ 2,20 por kg de resíduo. Os fardos de fibras desfibradas retornam à empresa com aproximadamente 295 kg cada, sendo que a perda na transformação de resíduo sólido para fibra desfibrada é de aproximadamente 5%, de acordo com a Equação 1.

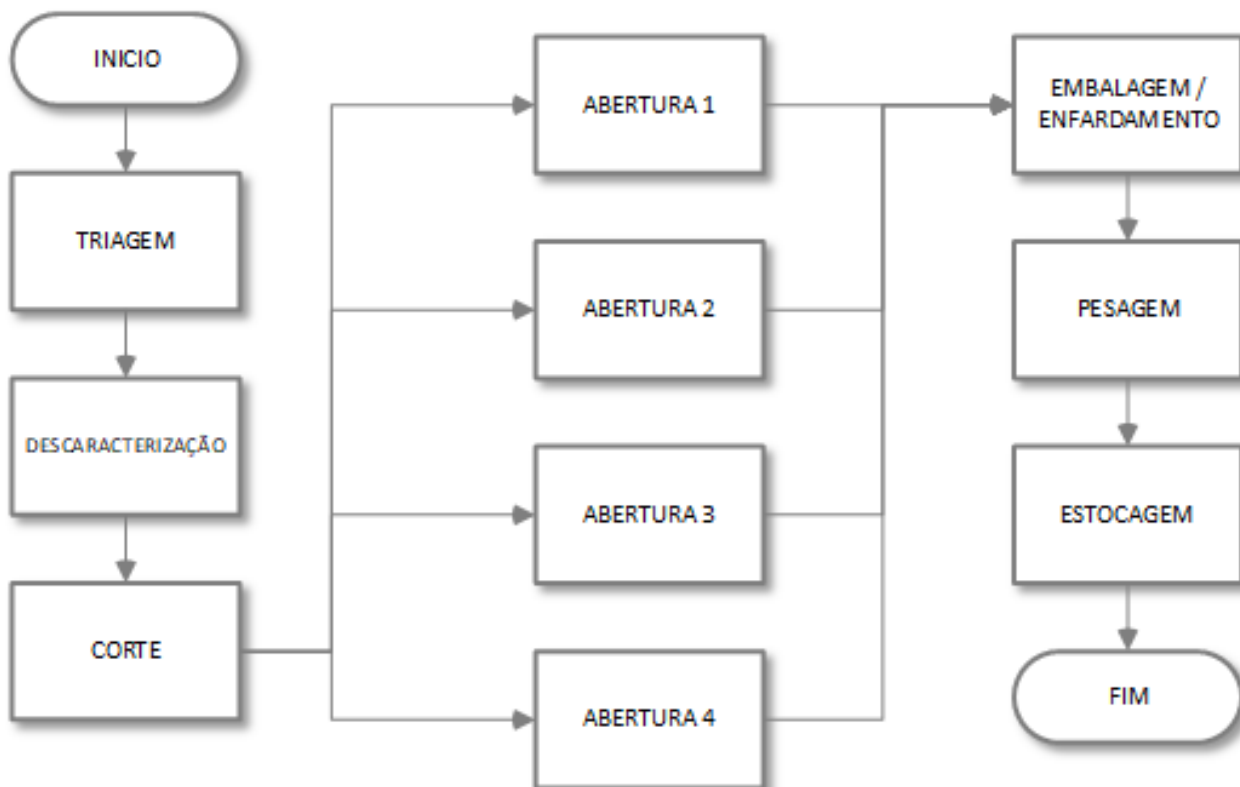


Figura 3: Fluxograma de transformação do resíduo sólido em fibra desfibrada.

$$\text{Perda (\%)} = ((\text{massa inicial} - \text{massa final}) / \text{massa inicial}) * 100 \quad (1)$$

As fibras desfibradas são entregues em fardos e são caracterizadas como fibra desfibrada branca ou fibra desfibrada mil cores, com tonalidades distintas, de acordo com a Figura 4.

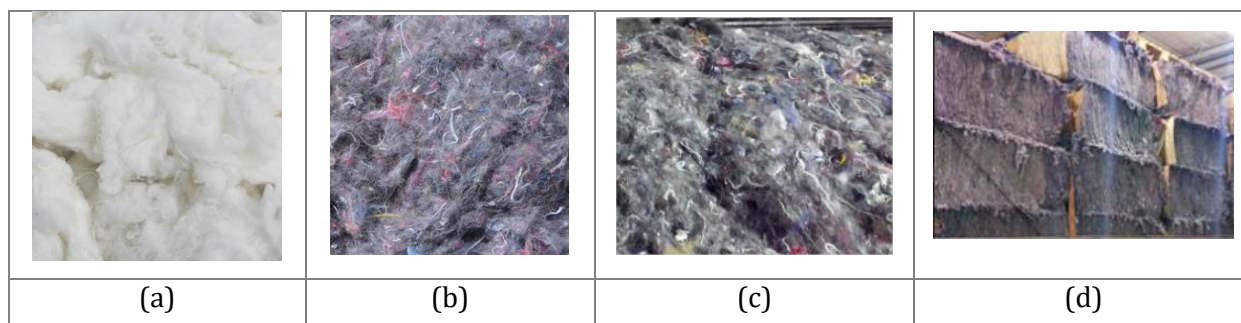


Figura 4: Fibras desfibradas (a) Branca, (b) e (c) tonalidades distintas, (d) fardos.

Processo de Fabricação do Não-tecido

Para análise de viabilidade da proposta com uso de matéria-prima virgem acrescido de fibra desfibrada, inicialmente escolheu-se um produto acabado padrão da indústria em estudo, conforme ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2: Produto padrão

Fibras	Produto	Gramatura	Espessura	Percentual na Blenda Atual
Fibra de Poliéster 4,4 Dtex 51mm - Bicomponente,100%Virgem, Branca.	Não-tecido poliéster	350g/m ²	50mm	20%
Fibra de Poliéster 8 Dtex 64mm - HC,100%Virgem, Branco.				20%
Fibra de Poliéster 15 Dtex 64mm - HC,Virgem, Semi Opaca.				20%
Fibra de Poliéster 11 Dtex 64mm - HR, 100% Virgem, Branca.				40%

Dados de venda atual: 702.061,07 m².

No Quadro 3 é possível visualizar o produto proposto.

Quadro 3: Produto proposto

Fibras	Produto	Gramatura	Espessura	Percentual na Blenda Atual
Fibra de Poliéster 4,4 Dtex 51mm - Bicomponente,100%Virgem, Branca	Nãotecido poliéster e desfibrado têxtil	350g/m ²	50mm	20%
Fibra de Poliéster 8 Dtex 64mm - HC (<i>Hollow Conjugate</i>),100%Virgem, Branca.				20%
Fibra de Poliéster 15 Dtex 64mm - HC,Virgem, Semi Opaca.				20%
Fibra desfibrada.				40%

O produto proposto para venda atenderá ao segmento da construção civil, para isolamentos térmicos e acústicos e, conforme dados de mapeamento de venda atual da empresa, é possível atingir os mesmos números com a utilização da fibra desfibrada em seu processo produtivo, ou seja, com reuso de aproximadamente 98.288,54 kg de resíduos sólidos transformados em desfibrado têxtil.

Para o reuso de resíduos sólidos na composição de um nãotecido com fibras de poliéster e fibras desfibradas, é necessário incluir um produto anti chama, onde a fibra desfibrada passa por um tratamento químico e depois pela secagem.

O processo de fabricação do nãotecido é simples e ocorre conforme apresentado na Figura 5. O equipamento emite a abertura e a mistura das fibras conforme regulagem dos carregadores. Em seguida são realizadas as etapas de cardagem, formação do véu de manta, dobrador de camadas, estiragem, consolidação das fibras e resfriamento para posterior processo de corte (longitudinal e transversal).

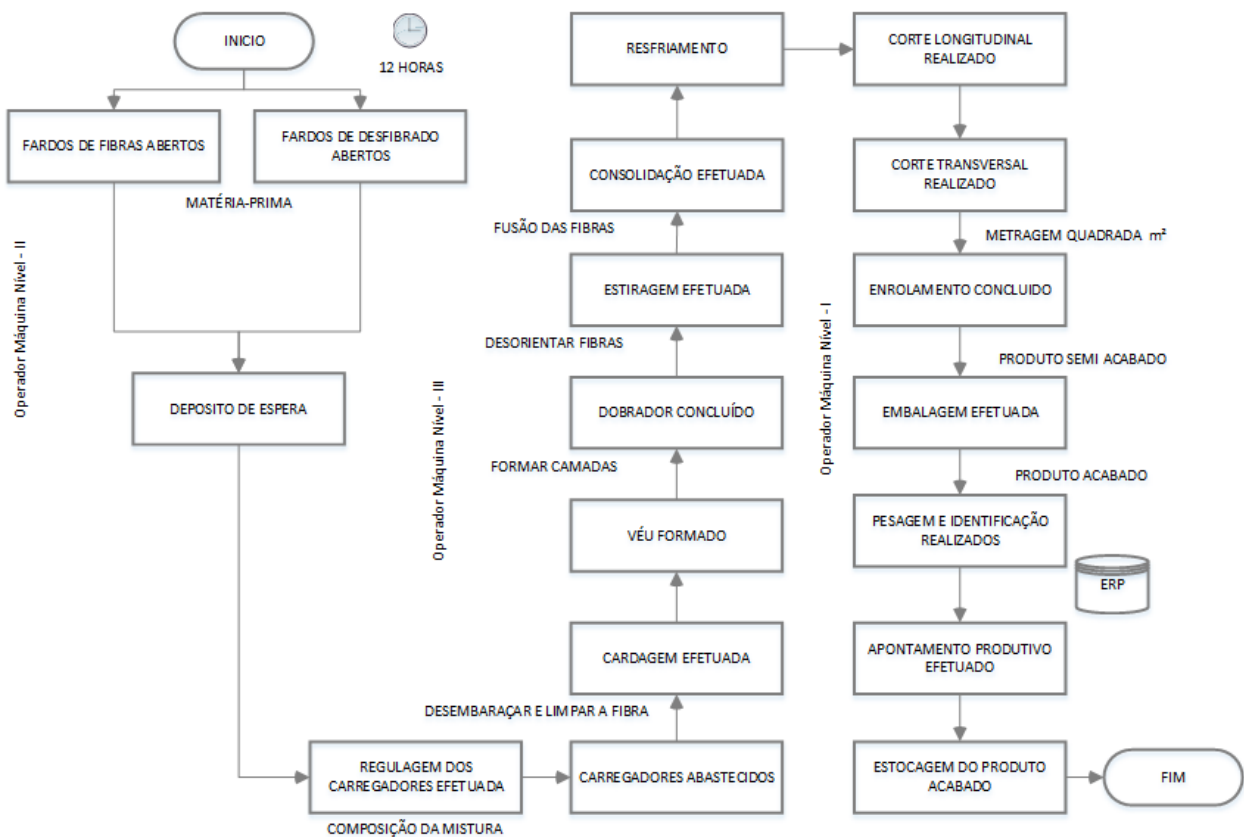


Figura 5: Processo de fabricação da manta, com fibras de poliéster e fibras desfibradas.

Resultados e Discussão

O processo de fabricação referente a proposta concebe o produto não-tecido para isolamento térmico e acústico mediante ações comerciais e de venda na empresa. Em seu processo de industrialização são utilizadas fibras desfibradas e fibras de poliéster conforme composição detalhada no Quadro 3.

A Figura 6 mostra as soluções desenvolvidas a partir da fibra desfibrada e fibra de poliéster.

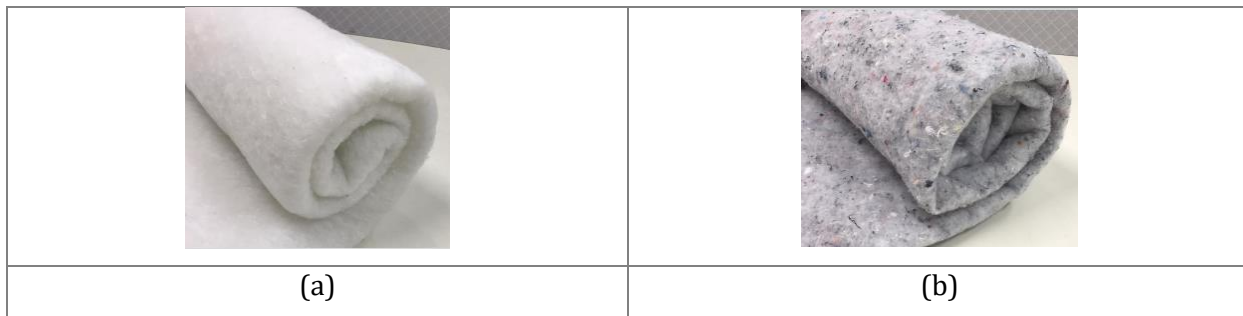


Figura 6: Não-tecido produzido com fibras desfibradas brancas (a), Não-tecido produzido com fibras desfibradas de tonalidades distintas (b).

A proposta compõe um produto de $0,350 \text{ kg/m}^2$ que, para a venda de $702.061,07 \text{ m}^2/\text{ano}$, emprega uma massa total de aproximadamente $245.721,37 \text{ kg/ano}$. Deste total, aproximadamente $98.288,54 \text{ kg/ano}$ corresponde ao reuso de aproximadamente 43% de resíduo sólido, ou seja, desfibrado textil.

Considerações Finais

Com este trabalho foi possível propor o emprego do reuso de resíduos sólidos gerados por uma indústria de confecção de artigos de cama, por meio da produção de soluções inovadoras, aliadas aos três pilares da sustentabilidade em uma empresa no estado Santa Catarina. Esta proposta permitirá a contribuição para a redução de impactos ambientais, agregará mais valor aos produtos, promoverá a equidade social e despertará a sociedade para um consumo verdadeiramente sustentável.

A preocupação da empresa com o descarte adequado, por meio de ações que prolonguem a vida útil de produtos antes de sua disposição final e consequente retorno financeiro, proporciona a empresa manter-se competitiva e atuante no mercado de isolamento térmico e acústico.

Estes resíduos representam uma média aproximada de 19 toneladas por mês, composto de várias etapas do processo produtivo, associando os pilares econômico, social e ambiental ao projeto proposto. Com este trabalho a empresa fará reuso de aproximadamente $98.288,54 \text{ kg/ano}$ correspondente ao desfibrado têxtil na composição da solução desenvolvida a partir de um produto padrão já bem estabelecido comercialmente.

Para trabalhos futuros sugere-se a implantação do programa de produção mais limpa e redução do resíduo na fonte, na indústria de fabricação de não-tecido, visando trilhar por completo o caminho do desenvolvimento sustentável.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da empresa Altenburg Têxtil Ltda., na Unidade de Negócio EcoFiber sediada na cidade de Blumenau, SC.

Referências Bibliográficas

- ALLWOOD, J. M.; LAURSEN, S. E.; RODRIGUEZ, C. M. de; BOCKEN, N. M. P. 2006. **Well dressed? The present and future sustainability of clothing and textiles in the United Kingdom**. 1 ed. Cambridge. University of Cambridge. Disponível em:
https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/Other_Reports/UK_textiles.pdf
- BRASIL. 03 ago. 2010. **Presidência da República. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm . Acesso em: 28 maio. 2021.
- BUFFARA, L. C. B; PEREIRA, M.F. janeiro-julho 2003 **Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: um estudo de caso no grupo O Boticário**. Revista de Ciências da administração. V.5, nº9, UFSC Florianópolis.
- CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2003. **Curso de Formação de Consultores em Produção Mais Limpa para Pequena e Microempresa**. Módulo 1, Porto Alegre, CNTL.
- JACOBI, P. R.; BENSEN, G. R. jan.-abr. 2011. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados, v. 25, n. 71.
- LERÍPIO, Alexandre de Ávila. 2001. **Gaia: um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais**. Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- MILARÉ, E. 2011. **Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco: doutrina, jurisprudência, glossário**. 7. ed. São Paulo:Revista dos Tribunais.
- MUELLER, C. C.; HILLIG, C.; BRINCKMANN, W. E.; ALMEIDA, U. 2012. **Educação para o desenvolvimento local: uma alternativa para o desenvolvimento de municípios**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental REGET/UFSC, Santa Maria. v.5, n.5, p.883-903. Disponível em:
<https://periodicos.ufsc.br/reget/article/viewFile/4309/2819>.
- THIOLLENT, Michel. 1985. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez.
- TREVISAN, M.; BLOCK, A. S.; MADRUGA, L. R. R. G.; VENTURINI, M. M. 2008. **Uma Ação de Responsabilidade Socio Ambiental no Rodeio Internacional**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Enegep. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro.
- VASSALO, C. 2004. **Um novo modelo de negócios**. Revista Guia de Boa Cidadania Corporativa. Nº 728, São Paulo.
- VEZOLLI, C. 2009. **Cenário do Design para uma moda sustentável. (trad. Kathia Castilio). In Pires, Dorotéia (Coord.). Design de moda: olhares diversos**. (pp. 197-205). Estação das Letras, São Paulo.

VEZZOLLI, C. 2010. **Design de Sistemas para a Sustentabilidade**. Salvador: Edufba. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para essa função. Ele é baseado na norma NBR 6023/2018 da ABNT.

RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CADEIA DO ARROZ: INCORPORAÇÃO DE CASCA E CINZA DA CASCA EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

| ID 19358 |

1Eduarda Krauspenhar, 2Michel Vinicius Flach, 3Vanusca Dalosto Jahno

¹Universidade Feevale, e-mail: eduardaakrauspenhar@gmail.com; ²Universidade Feevale, e-mail: flachmichel@gmail.com; ³Universidade Feevale, e-mail: vanusca@feevale.br

Palavras-chave: Casca de Arroz; Cinza da Casca de Arroz; Compósitos Poliméricos.

Resumo

No Brasil, a produção de arroz bruto registrada em 2021, foi de 11.615,5 mil toneladas. Durante o processo de descascamento do arroz bruto, para obtenção do grão de arroz, 20% do seu volume se transforma em casca de arroz (CA), considerado resíduo desse processo. Essa casca é considerada como carga biodegradável devido ao grande percentual de celulose, mas que em contrapartida possui uma superfície abrasiva e alta quantidade de sílica características que dificultam sua queima e decomposição. Mesmo assim, como forma de solucionar a gestão deste material, é muito comum a queima deste resíduo, o que acaba gerando um subresíduo, a cinza da casca de arroz (CCA). Apesar disto, devido à biodegradabilidade dessas fibras naturais, elas ganharam imensa atenção na indústria de compósitos. Isso ocorre porque é possível diminuir os impactos ambientais gerados pelo uso de materiais sintéticos nas indústrias, substituindo-os por essas fibras naturais. Visto isso, o objetivo desse trabalho foi desenvolver compósitos poliméricos, através da tecnologia de injeção, utilizando o polietileno de baixa densidade (PEBD) como matriz polimérica, e casca de arroz (CA) ou cinza da casca de arroz (CCA) como cargas de reforço nos compósitos. A partir disso, buscou-se avaliar, por meio de ensaios de resistência a tração, dureza e absorção de água as características físicas e mecânicas dos materiais obtidos. A casca de arroz e a cinza da casca de arroz foram preparados pela micronização em um micronizador por turbilhonamento. Foram utilizadas formulações variando-se a quantidade de carga de casca e de cinza de casca entre 20% e 40%. O processamento dos compósitos foi realizado pelo método de moldagem por injeção para obtenção dos corpos-de-prova, que foram submetidos a ensaios de resistência a tração, dureza e absorção de água para avaliação do material. Os resultados obtidos nos ensaios de resistência a tração variaram nos compósitos de CA, de 6,42 a 8,03 N/mm², já os compósitos de CCA variaram de 8,79 a 9,26 N/mm². Nesse ensaio os compósitos, tanto de CA quanto

de CCA, com 20% de carga apresentaram os melhores resultados. No ensaio de dureza a variação foi de 45,78 a 49,33 Shore D nos compósitos de CA; e 47,22 a 51,33 Shore D nos compósitos de CCA. Os compósitos com 40% de carga apresentaram resultados superiores, devido a carga ser mais rígida e resistente que o PEBD. Já no ensaio de absorção de água, todos os resultados obtidos foram inferiores a 1,2%, e nesse ensaio, os compósitos com 40% de carga apresentaram resultados inferiores, pois as cargas apresentaram características hidrofílicas. A diferença nos resultados dos compósitos de CA e de CCA é justificado pelo menor tamanho de partícula da CCA e pela maior concentração de sílica na CCA, em comparação a CA, o que facilita a maior interação dessa carga com o PEBD. Com os resultados obtidos conclui-se que os compósitos produzidos possuem propriedades potenciais adequadas para expandir as aplicações desses materiais formados a partir da tecnologia de injeção.

Introdução

A busca pela gestão sustentável e o uso eficiente de recursos naturais, junto com a necessidade de se desenvolver novos materiais e tecnologias são temas de grande relevância atualmente (ONU, 2015). Diante disso, observa-se uma grande necessidade de busca por aplicações viáveis para os resíduos lignocelulósicos gerados pela agricultura. Esses resíduos agrícolas são frequentemente descartados devido à falta de aplicações específicas em muitas indústrias (Park et al, 2015). Um dos resíduos agroindustriais mais abundantes é a casca de arroz, que pode ser considerado como carga biodegradável devido ao grande percentual de celulose, mas que em contrapartida possui uma superfície abrasiva e alta quantidade de sílica características que dificultam sua queima e decomposição (Huner, 2017).

Somente no Brasil, a produção de arroz bruto registrada em 2021, foi de 11.615,5 mil toneladas, tendo as regiões sul e centro-oeste como principais produtoras (CONAB, 2021). A partir da produção do grão, 20% do seu volume, se transforma em casca de arroz, resíduo do processo de obtenção do arroz durante o processo de descascamento do grão e obtenção do arroz descascado (MOURA, et al, 2018).

Em países que produzem uma grande quantidade de arroz, como o Brasil, o descarte de resíduos de casca de arroz é problemático. Este material possui baixa densidade, desta forma, grandes volumes estão disponíveis globalmente (Yeh et al, 2019). Como forma de solucionar a gestão deste material, é muito comum a queima deste resíduo, o que acaba gerando um subresíduo, a cinza da casca de arroz. A queima dessas fibras agrícolas, quando realizada de maneira inadequada, desencadeia vários impactos ambientais, como a poluição atmosférica e a contaminação da água e do solo (BASTA, 2019). Porém, devido à biodegradabilidade dessas fibras naturais, elas ganharam

imensa atenção na indústria de compósitos (Yeh et al, 2019). Isso ocorre porque substituir materiais convencionais, como sintéticos e metálicos, pelas fibras naturais, levará a uma grande diminuição dos impactos ambientais gerados (Muthuraj et al, 2019). Assim, a tecnologia de compósitos é uma excelente abordagem para a utilização de fibras naturais e agrícolas (Yusuf et al, 2017). Os produtos poliméricos derivados de fibra vegetal têm vários benefícios sobre outros materiais como: peso leve, baixo custo, propriedades mecânicas proficientes e biologicamente eficientes (Kumar et al, 2019).

Além disso, existe uma demanda crescente por materiais avançados com melhores propriedades para atender a novos requisitos ou para substituir materiais existentes. Os compósitos de matriz de polímero são amplamente usados por muitas indústrias devido à sua resistência à corrosão, baixa densidade, durabilidade e facilidade de processamento. A modificação de polímeros pela adição de diferentes cargas é um método eficaz para gerar a possibilidade de infinitos novos materiais com propriedades personalizadas (Agrawal e Satapathy, 2015).

É importante destacar a importância do tipo de processamento para obtenção dos compósitos, visto que é a partir do processamento que ocorre a união entre matriz polimérica e carga de reforço, o que influencia diretamente nas propriedades do material. Ainda assim, o processamento tem por objetivo conferir uma forma final para a matéria-prima com taxas de produção adequadas para a competitividade industrial. Os materiais termoplásticos são solúveis e fusíveis, tipo de estrutura que favorece as etapas de processamento por injeção e reciclagem do polímero, pois envolvem apenas processos de fusão, amolecimento e solidificação (Rabello, 2021).

Visto isso, o uso de casca de arroz como carga em compósitos poliméricos tem aumentado gradativamente, principalmente porque a produção desses pode fornecer benefícios como a reutilização desses resíduos agrícolas, além de reintegrá-los em cadeias de valor (Aridi et al, 2016). No trabalho de Erdogan e Huner (2017), foram preparados compósitos juntando-se casca de arroz e PP, através da tecnologia extrusão e posterior prensagem a quente dos materiais. Já Zhang et al. (2019) realizaram um trabalho semelhante, porém utilizando PEAD como matriz polimérica nos compósitos.

Chen et al. (2016) realizou um estudo utilizando como matriz uma mistura de polímeros reciclados para a preparação dos compósitos, essa mistura era composta por PEAD e PET reciclados. Os compósitos foram desenvolvidos através das tecnologias de extrusão, peletização e prensagem a quente, contendo 50, 60, 70 e 80% de casca nos compósitos produzidos. Segundo os autores houve uma melhora na resistência a tração dos materiais com o aumento da proporção de casca de arroz.

Já Azevedo et al. (2016), utilizou concentrações de casca de arroz de 10, 20 e 30%, trazendo um polímero verde, o Ecobras RD 704, como matriz polimérica, e desenvolveu os compósitos através

das metodologias de extrusão, peletização e injeção. Nesse trabalho também foi observado um aumento de resistência a tração dos materiais com o aumento das proporções de casca de arroz.

Com relação ao resíduo de cinza da casca de arroz, sua obtenção ocorre a partir de processos de queima da casca de arroz para a geração de energia e calor. A tecnologia empregada em maior escala é a combustão direta, devido ao menor investimentos e baixa complexidade, mas, devido ao alto teor de sílica, esta não é uma solução completa, pois os volumes de cinzas geradas são ainda muito grandes (LAWAL et al, 2019; QUISPE et al, 2017). A alternativa mais estudada para aplicação destas cinzas da casca de arroz é a incorporação em argamassas, porém como a combustão é realizada com a finalidade de geração de energia e não das propriedades das cinzas, suas características como reatividade e propriedades pozolânicas, não são interessantes para esta aplicação (SONAT et al, 2019; MARTIRENA e MONZÓ, 2018).

Para obterem-se cinzas de casca de arroz de alta qualidade e adequadas para aplicação em argamassas, são necessário controles rígidos de combustão e, ainda, pré-tratamentos das cinzas, reduzindo o potencial de aplicação. As tecnologias convencionais de queima para geração de energia geram cinzas com pouca sílica amorfa e, por vezes, inclusive partículas de cinzas não queimadas, desta forma a aplicação em escala como componente de argamassas é dificultado (OLUTOGE E ADESINA, 2019; MUTHUIKRISHNAN et al, 2019; MARTIRENA e MONZÓ, 2018). Portanto, a aplicação das cinzas da casca de arroz, como carga em compósitos poliméricos é uma alternativa que merece ser estudada.

Assim, devido a demanda por soluções para estes resíduos agroindustriais, o objetivo desse trabalho foi desenvolver compósitos poliméricos, através da tecnologia de injeção, utilizando o polietileno de baixa densidade (PEBD) como ligante, e casca de arroz (CA) ou cinza da casca de arroz (CCA), como cargas de reforço em compósitos poliméricos. A partir disso, buscou-se avaliar, por meio de ensaios, as características físicas e mecânicas dos compósitos obtidos.

Materiais e Métodos

Os resíduos de casca de arroz (CA) e cinza da casca de arroz (CCA), utilizados no estudo, foram obtidos de produtores de arroz do Rio Grande do Sul, Brasil. Estes materiais foram preparados pela micronização em um micronizador por turbilhonamento marca Schilling, modelo MC 250. Na figura 1, podem ser visualizados os materiais antes e após os processos de micronização. A distribuição granulométrica dos resíduos antes e após micronização foi obtida com o auxílio de um agitador de peneira eletromagnética Bertel, com peneiras de 9, 32, 80 e 250 mesh.



Figura 1: Casca de Arroz e Cinza da Casca de Arroz - Antes e Após Micronizações.

Como material de matriz polimérica para obtenção dos compósitos, foi selecionado o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), código BC818, fabricado pela Braskem. Os insumos foram submetidos a secagem em estufa, com temperatura de 90°C para a remoção da umidade. Em seguida, realizou-se a pesagem das amostras, conforme formulações descritas na Tabela 1. Após a pesagem, foi realizada a mistura manual das amostras e realizou-se o processamento dos compósitos pelo método de moldagem por injeção. A injetora utilizada foi de modelo APTA 80 da marca Bonmaq, com três zonas de aquecimento com as respectivas temperaturas, 180°C, 190°C, 190° C, e ainda a temperatura de 200°C no bico de injeção.

Tabela 1: Formulação dos Compósitos.

Amostra	Casca de Arroz	Cinza da Casca de Arroz	PEBD BC818
CCA.20	-	20 (%)	80 (%)
CCA.30	-	30 (%)	70 (%)
CCA.40	-	40 (%)	60 (%)
CA.20	20 (%)	-	80 (%)
CA.30	30 (%)	-	70 (%)
CA.40	40 (%)	-	60 (%)

Na Figura 2, podem ser visualizados os corpos de prova das amostras CCA.20 e CA.20. Obtidos a partir dos processamentos realizados utilizando-se um molde de injeção, com as cavidades em formato adequado para a obtenção de corpos de prova, conforme os ensaios de caracterização posteriores. A partir destes corpos de prova, os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638-14, com os corpos de prova do tipo IV. Estes foram realizados em uma máquina universal de ensaios da marca Maqtest, utilizando-se velocidade de ensaio de 50m/min. Os ensaios de dureza foram realizados de acordo com a norma ASTM D 2240-15, tendo como resultado final a média de 9 medições. O instrumento utilizado foi um durômetro Shore D da marca Pantec.

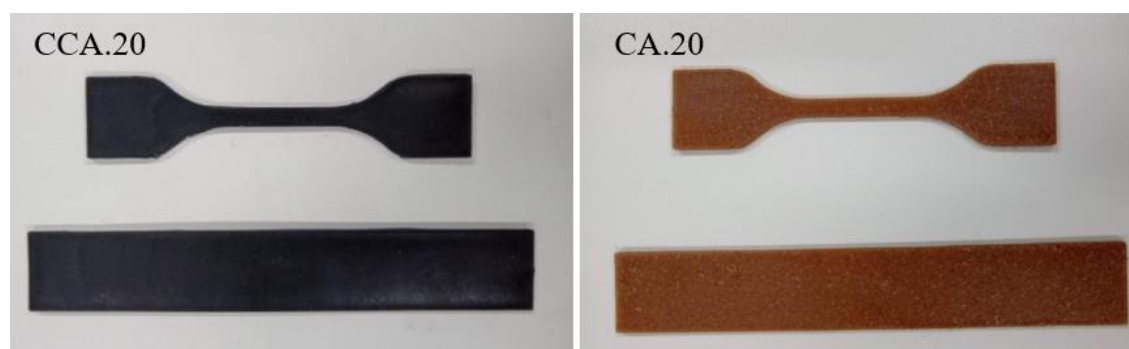


Figura 2: Corpos-de-prova injetados.

A determinação da absorção de água foi realizada de acordo com a norma ASTM D570-98. Para a realização desse ensaio, as amostras foram secas em estufa a 50°C por um período de 24h. Após serem retiradas da estufa, as amostras foram pesadas em uma balança semianalítica com precisão de 0,001, e em seguida foram imersas em um béquer com água ultrapura, ficando em imersão por 24h a uma temperatura ambiente de 23°C. Após as 24h em imersão as amostras foram retiradas da água, foram secadas levemente para remover a água da superfície e foram pesadas novamente. O resultado foi obtido pela média das 4 amostras de cada compósito.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2, podem ser observados os resultados dos ensaios de resistência à tração, dureza e absorção de água dos compósitos obtidos no estudo.

Na Tabela 3, são apresentados os dados das análises de distribuição granulométrica da casca de arroz e da cinza da casca de arroz. Verifica-se que o tamanho médio de partícula da casca de arroz natural é maior do que o tamanho médio de partícula das cinzas da casca de arroz. Complementarmente, ao submeter os dois resíduos ao mesmo processo de micronização, observa-

se que o tamanho médio de partícula das cinzas de casca de arroz é menor. Visto que, até a peneira de 250 mesh, por exemplo, somente 21,56% das partículas de cinzas de casca de arroz micronizadas ficaram retidas, enquanto 87,83% das partículas de casca de arroz micronizadas ficaram retidas até a peneira de 250 mesh.

Tabela 2: Resultados dos Ensaios Físicos e Mecânicos.

Amostra	Resistencia a tração	Dureza (Shore D)	Absorção de água
	N/mm ²		%
CCA.20	9,26	47,22	0,07
CCA.30	9,20	49,11	0,11
CCA.40	8,79	51,33	0,15
CA.20	8,03	45,78	0,25
CA.30	7,39	47,11	0,49
CA.40	6,42	49,33	1,03

Tabela 3: Distribuição granulométrica dos materiais.

Amostra	Quantidade percentual de material retido em cada peneira						
	32 mesh	48 mesh	80 mesh	170 mesh	250 mesh	500 mesh	prato
Casca natural	98,78 %	0,37 %	0,31 %	0,18 %	0,12 %	0,23 %	0,02 %
Casca micronizada	2,83 %	26,72 %	35,35 %	17,16 %	5,88 %	11,08 %	1,09 %
Cinza natural	79,28 %	12,20 %	4,64 %	14,16 %	4,32 %	3,73 %	0,5 %
Cinza micronizada	0,12 %	0,39%	2,60 %	5,26 %	13,19 %	66,02 %	12,42 %

Com relação aos resultados de caracterização dos compósitos obtidos no estudo, os dados dos ensaios de resistência à tração são apresentados no Gráfico 1. Pode ser observado que o aumento da quantidade de carga, reduz a resistência à tração dos compósitos. Esta redução da resistência está ligada a falta de adesão entre a casca e o polímero, pois os polímeros são hidrofóbicos e a casca é hidrofílica, o que causa uma incompatibilidade entre esses materiais. A diminuição da resistência a tração é justificada também, pela diminuição da fluência do material durante o processamento,

devido a carga de casca de arroz, reduzindo a interação com o PEBD, resultado da diminuição de compactação dos compósitos (Yet et al, 2015).

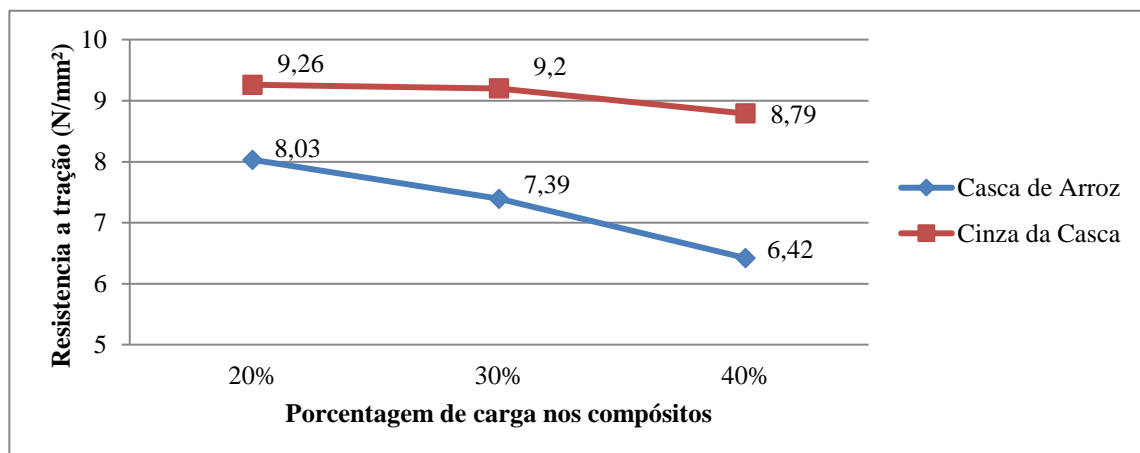


Gráfico 1: Resultados dos Ensaios Resistência à Tração

O presente estudo abordou formulações contendo de 20 a 40% de casca de arroz, e conforme o aumento de casca de arroz nos compósitos, observa-se uma pequena redução na resistência a tração dos compósitos, como é possível observar a partir do Gráfico 1. Hidalgo- Salazar e Salinas (2019) desenvolveram compósitos com polipropileno e casca de arroz, através das tecnologias de extrusão e injeção, com carga nas porcentagens de 10%, 20% e 30%. Os autores observaram uma pequena redução nos ensaios de resistência a tração das amostras com o aumento da quantidade de casca de arroz. Também utilizando PP e casca de arroz, Aridi et al (2016) desenvolveu os compósitos com proporções de 35 a 55% de casca através dos processos de extrusão, seguido de peletização e injeção. Foi ainda adicionado Struktol, como agente de acoplamento para modificar as propriedades dos compósitos, o que gerou compósitos com semelhantes resultados de resistência a tração.

Com relação aos compósitos desenvolvidos com as cinzas da casca de arroz, verifica-se a partir do Gráfico 1, que também ocorre a redução da resistência à tração, com o aumento do percentual desta carga. Nam et al (2019), desenvolveram compósitos contendo os resíduos de casca de arroz e outros contendo as cinzas da casca de arroz. Constataram a partir dos resultados, que assim como no presente estudo, ocorre a redução da propriedade de resistência à tração com a incorporação destas cargas, atribuindo esta perda de propriedade mecânica a incompatibilidade entre as cargas e a matriz polimérica.

Comparando-se os dados dos compósitos contendo a casca de arroz e a cinza da casca, verifica-se que a incorporação da cinza como carga gera materiais com maior propriedade de resistência à tração. Neste sentido, observa-se que a matriz polimérica é hidrofóbica, assim como também a sílica

presente nas cargas é hidrofóbica (Fernandes et al, 2018). Portanto, como a sílica está em maior quantidade percentual nas cinzas da casca de arroz, gera melhor compatibilidade com o PEBD, com relação a casca de arroz utilizada como carga, a qual possui menos sílica e mais materiais hidrofílicos como celulose e lignina em sua composição.

A transferência de tensões entre a matriz polimérica e a carga quando sob esforço mecânico, é outra característica que contribui negativamente para a resistência à tração, por isto, uma maior quantidade de carga, gera a redução desta propriedade dos compósitos. Portanto, a incorporação de enchimentos com rigidez diferente da matriz polimérica, reduz a eficiência da transferência de tensões. Isto somado a redução das interações químicas dos constituintes dos compósitos, gera a redução da propriedade mecânica verificada nos resultados (Battezzore e Frache, 2019; Pondong et al, 2018)

No presente estudo, a metodologia de processamento utilizada para a obtenção dos compósitos, foi a moldagem por injeção, assim como no estudo de Battezzore e Frache (2019), os quais também observaram uma redução da resistência à tração, em compósitos de poliamida e cinzas da casca de arroz.

A característica de redução de resistência à tração pela adição de cinzas de casca de arroz é observada também com o uso de outras metodologias de processamento e materiais de matriz polimérica. Wu et al (2018), obtiveram compósitos de PHB e cinzas de casca de arroz, por meio de processos de compressão à quente, verificando uma redução da propriedade de resistência à tração, devido a adição das cinzas de casca de arroz. O que foi observado também, por Dishovsky et al (2017), que desenvolveram borrachas com a adição das cinzas da casca de arroz, utilizando o processo de vulcanização em uma prensa hidráulica. Outra metodologia aplicada, foi a incorporação das cinzas em matriz epóxi, como realizado por Fernandes et al (2018), obtendo resultados que demonstram a redução da resistência à tração, com a adição das cinzas de casca de arroz na mistura com Araldite.

A redução da resistência à tração não inviabiliza a aplicação da casca de arroz e cinzas da casca de arroz como cargas em compósitos poliméricos. Mas é uma característica que impacta nas propriedades dos materiais e necessita ser observada quando é realizado desenvolvimento de novos materiais. Outra propriedade que é impactada pela incorporação das cargas de resíduos do arroz é a dureza dos materiais.

No Gráfico 2, podem ser observados os resultados dos ensaios de dureza shore D. Para a casca de arroz, verifica-se que o aumento da concentração de casca nos compósitos, influenciou no aumento de resultado de dureza. Esse resultado é obtido pelo alto teor de lignina na casca o que interfere no aumento da rigidez do material (Sajith et al, 2017).

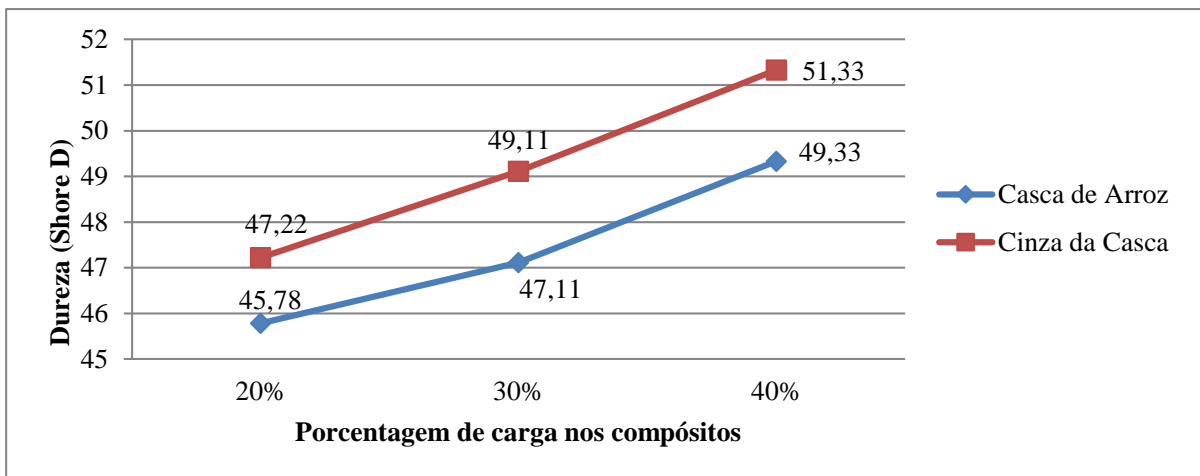


Gráfico 2: Resultados dos Ensaio Dureza Shore D.

O trabalho de Sabbatini et al (2017), foi realizado com adição de casca ao PMMA e no trabalho de Kumar et al (2019) foram fabricados painéis, com o uso de ligante epóxi. Em ambos os trabalhos, ocorreu um aumento, dos resultados obtidos no ensaio de dureza, com o aumento da concentração de casca de arroz nos compósitos desenvolvidos.

Os resultados dos ensaios de dureza shore D, dos compósitos obtidos utilizando as cinzas da casca de arroz, demonstram que o aumento do teor de carga contribui para o aumento da dureza dos materiais, também com a adição de cinza. Comparando-se com os compósitos de casca de arroz, a dureza é superior. As partículas de cinzas de casca de arroz possuem menor tamanho de partícula, conforme pode ser observado na Tabela 2. O menor tamanho de partícula, promove uma melhor compactação do material e distribuição mais homogênea das partículas afetando a mobilidade das cadeias moleculares da matriz polimérica (Pondong et al, 2015).

Pondong et al, (2018) desenvolveram compósitos contendo as cinzas da casca de arroz, por meio de processos de moldagem por injeção. Em seu estudo, verificaram em seus estudos que a incorporação da cinza de casca de arroz aumentou o módulo de Young dos compósitos, desta forma gerando materiais com maior rigidez e maior dureza, devido a introdução da carga de cinza de casca de arroz, já que este enchimento é mais rígido que a matriz polimérica.

Para a característica de absorção de água, verifica-se que conforme o aumento da casca de arroz, ocorre um aumento da absorção de água, conforme pode ser visto no Gráfico 3. Esse aumento ocorre devido a característica hidrofílica da casca (Huner, 2017). Observa-se que os resultados obtidos foram baixos, menores que 1,2% em todas as amostras, resultado que amplia a potencial aplicação desses compósitos.

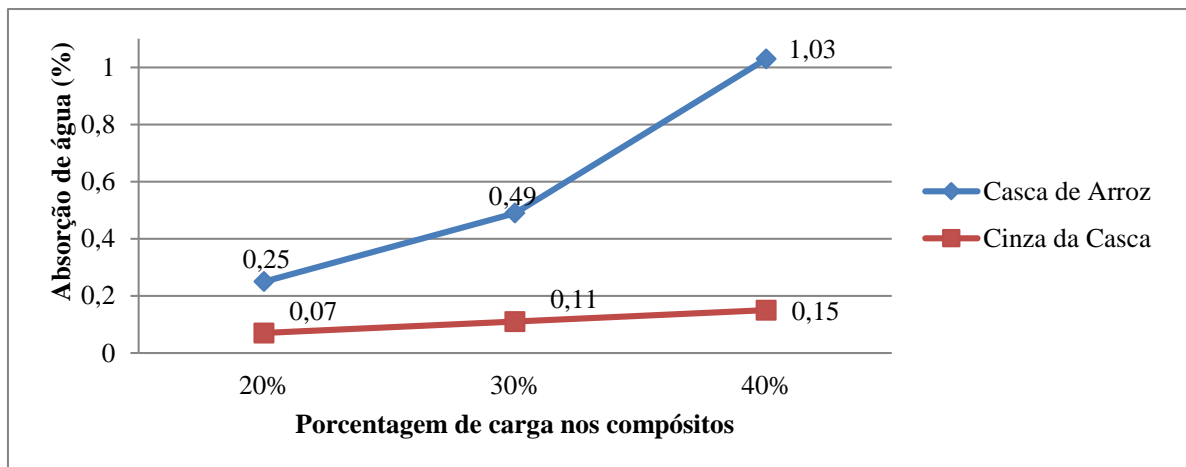


Gráfico 3: Resultados dos Ensaios de Absorção de Água.

No trabalho de Sabbatini et al (2017), onde foram desenvolvidos compósitos de PMMA e casca de arroz, os resultados de absorção foram inferiores a 0,6%. Já em relação a quantidade de carga no polímero, Erdogan e Huner (2018), desenvolveram compósitos com diferentes proporções de casca de arroz micronizada e PP, através da tecnologia de extrusão e posterior compressão à quente, e obtiveram como resultados, também como o presente trabalho, o aumento da absorção de água, conforme aumento da quantidade de casca de arroz.

A propriedade de absorção de água dos compósitos que contém as cinzas de casca de arroz, podem também ser observados no Gráfico 3. A partir dos dados verifica-se que a absorção de água dos compósitos contendo as cinzas é inferior a absorção dos compósitos contendo a casca de arroz, o que está ligado ao maior percentual de sílica nas cinzas. Isto ocorre, pois a sílica é hidrofóbica, portanto, não contribui para a absorção de água dos materiais (Fernandes et al, 2018).

Mas, como pode ser visto nos resultados, os compósitos que contém as cinzas como carga, também absorvem água. Esta absorção aumenta, com o aumento do percentual de cinzas nas amostras. O que se deve aos vazios da microestrutura do compósito, já que com o aumento da quantidade de carga, aumentam-se os vazios, onde a água será retida (Boitt et al, 2014).

Considerações Finais

Nesse estudo foram desenvolvidos compósitos de PEBD e casca de arroz micronizada e compósitos de PEBD e cinza da casca de arroz micronizada, obtidos através da tecnologia de injeção. Para ambos os compósitos foram realizados processamentos com composições de casca de arroz ou cinza da casca de arroz com percentuais de 20, 30 e 40%. Observou-se fluência e compactação

adequadas em todos os compósitos. Nos ensaios verificou-se uma pequena redução da resistência a tração dos compósitos com o aumento do percentual de carga. As amostras com 40% de casca de arroz tiveram uma redução de 20% da resistência a tração comparado com as amostras com 20% de CA. Já as amostras com 40% de cinza de casca de arroz, tiveram uma redução a resistência a tração de 5% em relação as amostras com 40% de CCA. No ensaio de dureza, os compósitos com 40% de carga apresentaram os maiores resultados, pois tanto a cinza como a casca são mais rígidas do que a matriz polimérica. Nesse ensaio os compósitos com CA variaram de 47,22 a 51,33 Shore D, e os de CCA variaram de 45,78 a 49,33 Shore D. No ensaio de absorção de água, observou-se um aumento da absorção de água tanto nos compósitos contendo a CCA como a CA, com o aumento da quantidade de carga dos compósitos. Nestes ensaios, todos os resultados obtidos foram inferiores a 1,2%, ou seja, os materiais obtidos apresentaram absorção de água muito baixa. De maneira global, os compósitos com CCA apresentaram melhores resultados nos ensaios, pois a quantidade de sílica presente na cinza é maior em comparação à casca, e também, as partículas da cinza são menores, o que aumenta a sua compatibilidade com o PEBD. Em geral, concluiu-se que todos os compósitos produzidos possuem compactação e fluência adequadas para expandir as aplicações desses materiais formados a partir da tecnologia de injeção.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao CNPq, a Universidade Feevale e a empresa Marina Tecnologia pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

AGRAWAL, Alok; SATAPATHY, Alok. Mathematical model for evaluating effective thermal conductivity of polymer composites with hybrid fillers. 2015. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 89, p. 203-209.

ARIDI, N. A. M ; SAPUAN, S. M ; ZAINUDIN, E. S ; AL-OQLA, Faris M. Investigating morphological and performance deterioration of injection-molded rice husk-polypropylene composites due to various liquid uptakes. 2016. **International Journal of Polymer Analysis and Characterization**, v. 21, p. 675-685.

AZEVEDO, Joyce Batista; VIANA, Josiane Danas; CARVALHO, Laura Hecker; CANEDO, Eduardo Luis. Caracterização de compósitos obtidos a partir de polímero biodegradável e casca de arroz utilizando duas técnicas de processamento. 2016. **Revista Matéria**, v.21, n. 02, p. 391-406.

BASTA, Altaf H.; LOTFY, Vivian F.; HASANIN, Mohamed S.; TRENS, Phelippe; EL-SAIED, Houssni. Efficient treatment of rice byproducts for preparing high-performance activated carbons. 2019. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 284-295.

- BATTEGAZZONE, Daniele; FRACHE, Alberto. Bio-based PA5. 10 for Industrial Applications: Improvement of Barrier and Thermo-mechanical Properties with Rice Husk Ash and Nanoclay, 2019. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, p. 2213-2223.
- BOITT, A.P.W.; BARCELLOS, I.O.; ALBERTI, L.D.; BUCCI, D.Z. Evaluation of the Influence of the Use of Waste from the Processing of Rice in Physicochemical Properties and Biodegradability of PHB in Composites, 2014. **Polimeros**, v. 24, p. 640-645.
- CHEN, Ruey S.; AHMAD, Sahrim; GAN, Sinyee. Characterization of Rice Husk- Incorporated Recycled Thermoplastic Blend Composites, 2016. **Bioresources**, v. 11, n. 4, p. 8470-8482.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Boletim dos grãos, maio 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em; 31 de mai 2021.
- DISHOVSKY, Nikolay; MALINOVA, Petrunka; UZONOV, Ivan. Biogenic Amorphous Silica as Filler for Elastomers, 2017. **Journal of Renewable Materials**, v. 6.
- ERDOGAN, Selcuk; HUNER, Umit. Physical and Mechanical Properties of PP Composites Based on Different types of Lignocellulosic Fillers, 2018. **Journal of Wuhan University of Technology- Materials Science Edition**, v. 33, n. 6, p. 1298-1307.
- FERNANDES, Iara; SANTOS, Ramon; DOS SANTOS, Emanuele; ROCHA, Tatiana; DOMINGUES, Nei; MORAES, Carlos. Replacement of Commercial Silica by Rice Husk Ash in Epoxy Composites: A Comparative Analysis, 2019. **Revista Ibero-Americana de Materiais** v 21, p 1.
- HIDALGO-SALAZAR, Miguel A.; SALINAS, Elizabeth. Mechanical, thermal, viscoelastic performance and product application of PP- rice husk Colombian biocomposites. 2019. **ELSEVIER, Composites part B**, v.179.
- HUNER, Umit. Effect of chemical treatment and maleic anhydride grafted polypropylene coupling agent on rice husk and rice husk reinforced composite. 2017. **Materials Express**, v. 7, n.2, p. 134-144.
- KUMAR, Sandeep; MER, Krishan Kant Singh; GANGIL, Brijesh; PATEL, Vinay Kumar. Synergy of rice-husk filler on physico-mechanical and tribological properties of hybrid Bauhinia-vahlia/sisal fiber reinforced epoxy composites. 2019. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, p. 2070-2082.
- LAWAL, A. Q. T.; NINSIIMA, E.; ODEBIYI, O. S.; HASSAN, A. S.; OYAGBOLA, I. A.; ONU, P.; YUSUF, D. A.; JAPYEM, E. 2019. Effect of Unburnt Rice Husk on the Properties of Concrete. **Procedia Manufacturing**, v. 35, p. 635-640,
- MARTIRENA, F. e MONZÓ, J. 2018. Vegetable ashes as Supplementary Cementitious Materials. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 57-64.
- MOURA, Adriano; BOLBA, Cassio; DEMORI, R; LIM, L; SAMANTA, Ruth. 2018. Effect of Rice Husk Treatment with Hot Water on Mechanical Performance in Poly(hydroxybutyrate)/Rice Husk Biocomposite. **Journal of Polymers and the Environment**, v.26(6), p.2632-2639.
- MUTHUKRISHANAN, S.; GUPTA, S.; KUA, H. W. 2019. Application of rice husk biochar and thermally treated low silica rice husk ash to improve physical properties of cement mortar. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, v. 104.
- MUTHURAJ, Rajendran; LACOSTE, Clément; LACROIX, Patrick; BERGERET, Anne. Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. 2019. **Industrial Crops and Products**, v. 135, p. 238-245.

NAM, Gibeop.; KIM, Jeachul; SONG, Jung-II. Mechanical Performance of Bio-Waste-Filled Carbon Fabric/Epoxy Composites, 2019. **Polymer Composites**, Vol.40(S2), pp.E1504-E1511.

OLUTOGE, F. A.; ADESINA, P. A. 2019. Effects of rice husk ash prepared from charcoal-powered incinerator on the strength and durability properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 196, p. 386-394.

ONU, Organização das Nações Unidas. 2015. Objetivos de desenvolvimento sustentável: Agenda: 2030.

PARK, Jong Hye; LEE, Ji Young; KIM, Chul Hwam; KIM, Eun Hea. Effects of Lignocellulosic Bulking Agents Made from Agricultural Byproducts on Physical Properties and Drying Energy Consumption of Duplex Board. 2015. **Bioresources**, v. 10, n.4, p. 7889-7887.

PONGDONG, Wiphawadee; KIMMERLOWE, Claudia; VENNEMANN, Norbert; THITITHAMMAWONG, Anoma; NAKASON, Charoen. A comparative study of rice husk ash and siliceous earth as reinforcing fillers in epoxidized natural rubber composites, 2018. **Polymer Composites**, v. 29 (2), p. 414-426.

PONGDONG, Wiphawadee; NAKASON, Charoen; KIMMERLOWE, Claudia; VENNEMANN, Norbert; SOYKAN, Cengiz. Influence of Filler from a Renewable Resource and Silane Coupling Agent on the Properties of Epoxidized Natural Rubber Vulcanizates, 2015. **Journal Chemistry**, v. 2015.

QUISPE, I.; NAVIA, R.; KAHHAT, R. 2017. Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: A review. **Waste Management**, v. 59, p. 200-210.

RABELLO, Marcelo Silveira. **Estrutura e propriedades de polímeros**. 1 ed. Campina Grande, 2021.

SABBATINI, Alessandra; LANARI, Silvia; SANTULLI, Carlo; PETTENARI, Claudio. Use of almond shells and rice husk as fillers of Poly(Methyl Methacrylate) (PMMA) Composites. **Materials**, v. 10, n. 8, 2017.

SAJITH, S.; ARUMUGAM, V. DHAKAL, H.N. Comparison on mechanical properties of lignocellulosic flour epoxy composites prepared by using coconut shell, rice husk and teakwood as fillers, 2017. **Polymer Testing**, v. 58, p. 60-69.

SONAT, C.; UNLER, C. 2019. Development of magnesium-silicate-hydrate (M-S-H) cement with rice husk ash. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 787-803.

WU, Wei; HE, Haibing; LIU, Tao; WEI, Ruichao; CAO, Xianwu; SUN, Qijun; VENKATESH, Shishir; YUEN, Richard K.K; ROY, Vellaisamy A.L.; LI, Robert K.Y Synergetic Enhancement on flame retardancy by melamine phosphate modified lignin in rice husk ash filled P34HB biocomposites, 2018. **Composites Science and Technology**, v. 168, p. 246-254.

YEH, Shu-Kay; HSIEH, Chia-Chun; CHANG, Hsiao-Ching; YEN, Christopher C.C; CHANG, Yi-Chun. Synergistic effect of coupling agents and fiber treatments on mechanical properties and moisture absorption of polypropylene-rice husk composites and their foam, **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, 2015, v.68, p. 313-322.

YUSUF, Taofeek A.; DAN-LAAGA, Lawson E.; OGWOCHÉ, Peter O. Characterization of selected properties of composites of waste paper with untreated bamboo stem fibre and rice husk.. 2017. **Acta Polytechnica**, v. 57 (4), p. 295-303.

ZANG, Qingfa; LI, Yukang; CAI, Hongzhen; LIN, Xiaona; YI, Weiming; ZHANG, Jibing. Properties Comparison of High Density Polyethylene Composites Filled with three Kinds of shell fibers, 2019. **Results in Physics**, v.12, p. 1542-1546.

VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO FLORESTAL DO EUCALIPTO ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO TERMOQUÍMICO PARA A PRODUÇÃO DE BIOADSORVENTE DE BAIXO CUSTO

| ID 19361 |

1Ricardo Henrique Thomé Dorneles, 2Victor Hugo Andreis Sebben, 3Aline Rossoni Rava, 4Bruna Fernandes Machado, 5Laura Fernanda Costantin, 6Fernanda Cortez Lopes, 7Emmanuel Damilano Dutra, 8Fabiano Perin Gasparin, 9Lúcia Allebrandt da Silva Ries

1Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, e-mail: ricardo-dorneles@uergs.edu.br; 2Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, e-mail: victor-sebben@uergs.edu.br; 3Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, e-mail: aline-rava@uergs.edu.br; 4Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, e-mail: bruna-machado@uergs.edu.br; 5Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, e-mail: laura-costantin@uergs.edu.br; 6Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: fernandacortezlopes@gmail.com; 7Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: emmanuel.dutra@ufpe.br; 8Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: fabiano.gasparin@ufrgs.br; 9Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, e-mail: lucia-ries@uergs.edu.br

Palavras-chave: Resíduo florestal do eucalipto; pirólise; bioadsorvente de baixo custo.

Resumo

Nesse estudo, o resíduo da colheita do eucalipto foi empregado para a fabricação de bioadsorvente de baixo-custo. O resíduo e suas partes (cascas, folhas e galhos) foram tratados termicamente a 400 °C e por diferentes tempos de residência (5, 15 e 30 min) em atmosfera isenta de oxigênio. Os produtos sólidos obtidos foram avaliados quanto à capacidade de remoção do ácido acetilsalicílico (AAS), um poluente emergente muito encontrado em águas residuais. O biochar produzido a partir da pirólise do resíduo a 400 °C e 30 min foi o que apresentou melhor desempenho na remoção do fármaco (16,9%), embora ainda muito abaixo do desempenho apresentado pelo carvão ativado comercial (93,6%). Por outro lado, os resultados mostraram que o tratamento desse biochar com ácido fosfórico aumentou significativamente a eficiência de remoção (53,3%), demonstrando o potencial do resíduo do eucalipto em atuar como bioadsorvente. Além disso, o tratamento com ácido fosfórico demonstrou que o desempenho do bioadsorvente pode ser

otimizado através de ajustes nas condições operacionais do processo, levando à obtenção de um produto renovável e de maior valor agregado.

Introdução

O uso racional dos recursos hídricos surge como um dos mais urgentes desafios ambientais a ser superado pelo homem no século XXI, e a solução passa pelo desenvolvimento de tecnologias adequadas para o tratamento da água de consumo e dos efluentes gerados nas mais diversas atividades.

Os fármacos são um importante grupo de poluentes que nos últimos anos vêm sendo rotineiramente identificados, em concentrações da ordem de ng/L e µg/L, tanto em efluentes quanto em águas tratadas (Huerta-Fontela; Galceran; Ventura; 2011). Usados como medicamentos por humanos e animais, tais compostos não são completamente metabolizados, sendo excretados através da urina e fezes e, juntamente com seus produtos de degradação são continuamente liberados para o meio ambiente. Pode-se ainda incluir como possíveis formas de liberação para o meio, os efluentes gerados nos processos de manufatura dos mesmos e o descarte inadequado de medicamentos vencidos ou não utilizados (Heberer; Reddersen; Mechliniski; 2002; Mompelat; Le Bot; Thomas; 2009).

As tecnologias convencionais empregadas em estações de tratamento de esgoto e de tratamento de água não são eficientes na remoção total destes compostos (Jones; Voulvoulis; Lester; 2005). Por serem bioacumulativos, apresentarem elevada persistência no meio ambiente, relativa solubilidade em água e baixa biodegradabilidade, sua presença em águas residuárias e superficiais, sedimentos, solos, lençóis freáticos e até mesmo na água de consumo, constitui um problema a ser resolvido pelas companhias de saneamento de água e esgoto.

De posse deste conhecimento, a comunidade científica mundial vem nos últimos anos direcionando seus estudos para o desenvolvimento e aprimoramento de novas tecnologias para remoção destes poluentes, denominados poluentes emergentes ou contaminantes emergentes (Borges et al.; 2016; Ismail et al.; 2017; Kumar; Chopra; 2018; Tiwari et al.; 2017; Vona et al.; 2015; Zhi et al.; 2019; Ahmed; Hameed; 2018).

Um fármaco muito encontrado em águas residuais é o ácido acetilsalicílico (AAS), e uma possível explicação se deve ao seu amplo consumo por parte da população, frequentemente sem prescrição médica, sendo empregado como anti-inflamatório não esteroide, analgésico, antipirético e anticoagulante (Ziylan; Ince; 2011).

Com o objetivo de proteger a saúde humana em relação às propriedades nocivas desses poluentes, várias tecnologias vêm sendo estudadas, entre as quais pode-se citar os processos oxidativos avançados (Kanakaraju; Glass; Oelgemöller; 2018), degradação eletroquímica (Song et al.; 2020), ozonização (Bróseus et al.; 2009), degradação fotocatalítica (Verma; Haritash; 2020), osmose reversa (Gholami et al.; 2012), filtração por membranas (Oh et al.; 2015) e adsorção (Andrade et al.; 2018). Embora tais tecnologias sejam efetivas em alguma extensão, a maioria delas demanda alto capital de investimento e elevado custo operacional, além de apresentar elevada complexidade operacional para configuração em larga escala. A adsorção, por outro lado, exibe potencial para aplicação em larga escala, pois apresenta relativa simplicidade e flexibilidade operacional, elevada eficiência, baixo consumo energético, possibilidade de regeneração do material adsorvente e não gera produtos intermediários tóxicos (Burakov et al.; 2018). Importante salientar, ainda, que a adsorção é considerada um processo de polimento químico, eficiente na remoção de contaminantes presentes em concentrações de ng.L^{-1} a mg.L^{-1} (Cooney; 1999). O carvão ativado comercial é convencionalmente considerado como material adsorvente para a remoção de poluentes, devido à eficiência e à natureza versátil que apresenta frente a uma ampla gama de compostos. Contudo, o custo envolvido em sua produção constitui uma barreira limitante para seu emprego industrial, o que tem levado ao desenvolvimento de novos adsorventes.

A escolha do adsorvente é de fundamental importância para a concepção do processo de adsorção. Um material adsorvente para ser empregado em um sistema de tratamento de água/efluente necessita apresentar: i) baixo custo e ampla disponibilidade, ii) elevada estabilidade química e mecânica, iii) alta capacidade de adsorção, iv) elevada eficiência, v) cinética rápida, e vi) potencial para regeneração (Dotto, McKay; 2020). O desenvolvimento de um adsorvente que reúna todas as propriedades elencadas acima é obviamente bastante difícil, e por esta razão muitas pesquisas vêm sendo realizadas com foco no desenvolvimento e caracterização de novos materiais eficientes e de baixo custo. Vários materiais de diferentes naturezas e complexidades vêm sendo propostos, tais como compostos inorgânicos (como zeólitas, argilas e hidróxidos de camada dupla) (Rosset et al.; 2020), polímeros naturais e sintéticos (Alipoori et al.; 2021), compósitos magnéticos à base de óxido de ferro (Leonel; Mansur; Mansur; 2020), nanomateriais à base de sílica e de carbono (Xiang et al.; 2019) e bioadsorventes oriundos de resíduos agroindustriais e florestais (Mo et al.; 2018).

Inserido neste contexto, o biochar produzido a partir de biomassa lignocelulósica, vem surgindo como alternativa promissora, tanto por se tratar de um material de baixo custo, oriundo de resíduos de fontes renováveis e disponíveis em grandes quantidades, quanto por apresentar habilidade em remover poluentes de origem orgânica e inorgânica presentes em águas ou solo. O

biochar é um sólido escuro rico em carbono, com características hidrofóbicas, obtido pela pirólise de diferentes biomassas em reator sob atmosfera inerte e temperaturas entre 300 e 800 °C. Sob tais condições, a matéria orgânica sofre decomposição gerando três fases: a fase sólida (denominada de biochar), a fase líquida (denominada de bio-óleo) e a fase gasosa, constituída de gases não condensáveis (CO, CO₂, H₂ e CH₄, basicamente). O rendimento e a composição química de cada fase são fortemente influenciados pela natureza da biomassa, pré-tratamento desta e das condições empregadas na pirólise, tais como temperatura, tempo de residência, taxa de aquecimento, fluxo do gás de arraste e tipo de reator (Chadrsekaran et al.; 2018).

Diversos resíduos agroindustriais e florestais visando a produção de biochar vêm sendo estudados nos últimos anos, e diferentes aplicações têm sido propostas, tais como aditivo para melhorar as condições do solo, bioadsorvente na remoção de poluentes em águas e solo, na construção de eletrodos em sistemas de conversão de energia e como agente redutor na indústria do aço, entre outras (Fakayode et al.; 2020).

Considerando o cultivo do eucalipto, existe um crescente interesse do mercado em transformar o resíduo florestal em um produto renovável de maior valor agregado. O Brasil, em 2018, teve 9,9 milhões de hectares de área plantada com fins comerciais, 76,2% dos quais correspondendo à plantação de eucalipto, com ênfase na indústria de papel e celulose (IBGE; 2019). Estima-se a partir do trabalho publicado por Silva (2016), que aproximadamente 23% da árvore de eucalipto é transformado em resíduo, sendo 12% constituído por cascas, 6% por galhos e 5% por folhas. Assim, uma grande quantidade de resíduo é gerada, cujo único destino costuma ser a disposição sobre o solo servindo de fertilizante após sua decomposição. Contudo, de acordo com Núñez-Regueira (2004) recomenda-se que somente cerca de 10% do resíduo permaneça no solo para evitar seu empobrecimento. Sendo assim, percebe-se que um manejo otimizado do resíduo florestal do eucalipto contribui para uma melhor aplicação do material agregando valor ao ciclo produtivo.

Na literatura, é possível encontrar alguns trabalhos empregando a casca do eucalipto in natura e o biochar produzido a partir desta para remoção de corantes e de alguns metais pesados (Martini; Afroze; Roni; 2020; Tejada-Tovar et al.; 2021). Contudo, nenhum estudo tem sido reportado referente à remoção de um fármaco empregando o biochar produzido a partir do resíduo florestal do eucalipto.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo produzir biochar a partir da pirólise do resíduo florestal do eucalipto e de suas diferentes partes individualmente (cascas, folhas e galhos), e avaliar a capacidade apresentada pelos diferentes adsorventes produzidos frente à remoção do fármaco ácido acetilsalicílico em solução aquosa sintética diluída.

Material e métodos

Biomassa

O resíduo da colheita do eucalipto empregado neste trabalho foi coletado no horto florestal da empresa CMPC Celulose Brasil, localizado no município de Barra do Ribeiro-RS, e corresponde à espécie *Eucalyptus saligna*, com 7 anos de idade. O resíduo é constituído de cascas, folhas e galhos, material depositado no solo após a colheita das árvores destinadas à indústria de papel e celulose. As análises de caracterização e os ensaios de pirólise foram realizados empregando o resíduo e suas diferentes partes (cascas, folhas e galhos) individualmente. Após a coleta, o resíduo foi levado para o laboratório e deixado secar naturalmente. Após a secagem natural, o percentual de umidade no resíduo e suas partes foi determinado, conforme publicado por Silveira et al. (2020). Os teores de umidade encontrados foram: 10,1% para o resíduo; 10,2% para a casca; 9,1% para a folha e 10,4% para o galho. Biomassas com baixo conteúdo de umidade (menos que 10%) são desejáveis devido à maior velocidade dos processos térmicos e melhor eficiência energética (Fermanelli et al.; 2020).

Para os ensaios de caracterização, as amostras tiveram seu tamanho reduzido em um moinho de facas, sendo o pó resultante passado por peneira de 40 mesh, para uniformização do tamanho. Para os ensaios de pirólise, as amostras tiveram seu tamanho reduzido a fragmentos com cerca de 5 mm de diâmetro, buscando a uniformização das mesmas.

Caracterização da biomassa

Análise termogravimétrica foi realizada para avaliação da estabilidade dos materiais frente à degradação térmica como descrito por Silveira et al. (2020), empregando um analisador termogravimétrico da TA Instruments, SDT Q600. Os experimentos foram conduzidos com aproximadamente 20 mg de material, em cadinhos de platina, sob atmosfera inerte (N₂), com vazão de 100 mL/min e taxa de aquecimento de 30 °C/min, a partir da temperatura ambiente até 450 °C.

A composição do resíduo e suas partes foi avaliada através da análise imediata para quantificação do conteúdo de matéria volátil, cinzas e carbono fixo, de acordo com procedimento publicado previamente por Silveira et al. (2020).

Experimentos de pirólise para produção dos bioadsorventes

Nesse estudo, os experimentos de pirólise foram conduzidos em um reator laboratorial de batelada e leito fixo projetado e construído pelo próprio grupo do laboratório. A Figura 1 mostra o diagrama esquemático do sistema empregado. O reator foi construído em aço inoxidável com 11 cm de diâmetro e 13 cm de altura. Termopares foram adaptados para o controle da temperatura do

forno elétrico e do reator de pirólise. Nitrogênio gasoso de elevada pureza foi utilizado como gás de arraste, em um fluxo constante de 1 L/min, controlado através de um medidor de vazão. Antes de cada ensaio, nitrogênio foi passado através do reator por cerca de 15 min para assegurar uma atmosfera inerte e evitar a combustão das amostras. Em cada experimento, cerca de 20 g de biomassa foi empregada. Os experimentos foram realizados utilizando o resíduo florestal do eucalipto e suas diferentes partes separadamente, a uma temperatura de 400 °C (valor retirado das curvas termogravimétricas previamente realizadas), em três diferentes tempos de residência (5, 15 e 30 min). O reator foi carregado com a biomassa e aquecido externamente através de um forno elétrico, empregando uma taxa de aquecimento de 20 °C/min. Quando a temperatura desejada foi atingida, passou-se a controlar o tempo de residência. Terminado o processo de pirólise, foi necessário aguardar a temperatura interna baixar a cerca de 50 °C, sob atmosfera inerte, para retirar as amostras de biochar do reator.

O rendimento da fase sólida obtida para cada amostra estudada foi calculado empregando a Equação 1, dada abaixo.

$$\text{biochar (\% em massa)} = (\text{massa de biochar} / \text{massa de biomassa}) \times 100 \quad (1)$$

Onde: massa de biomassa representa a massa inicial de cada biomassa empregada (resíduo, casca, folha e galho), e massa de biochar, a massa da fase sólida obtida após cada ensaio de pirólise.

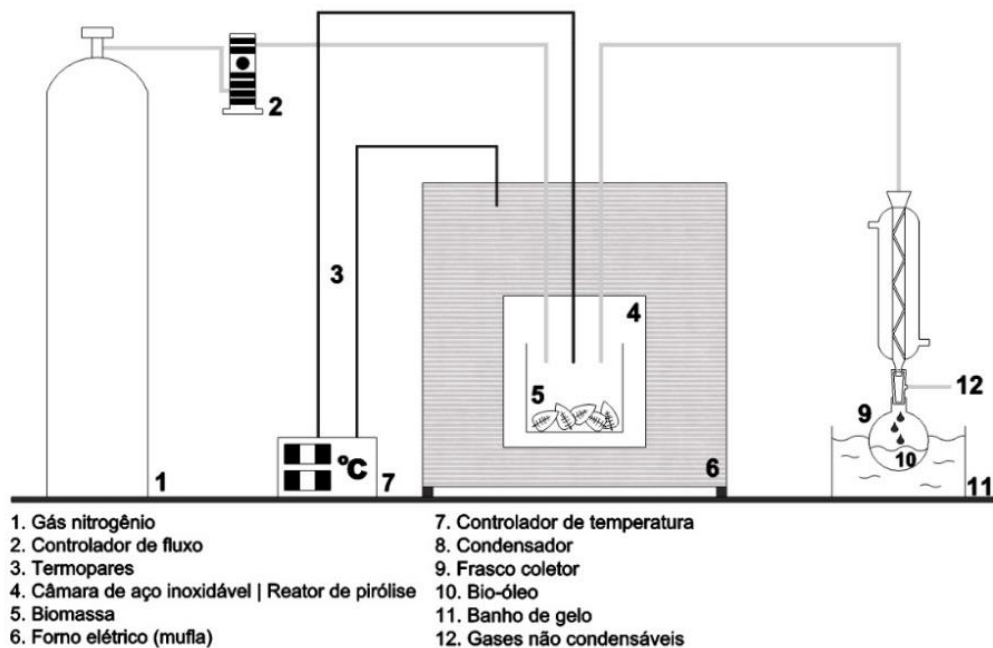


Figura 1: Representação esquemática do sistema de pirólise empregado.

Caracterização dos bioadsorventes

A espectroscopia na região do infravermelho foi utilizada para identificação dos grupos funcionais presentes na estrutura dos bioadsorventes. As análises foram realizadas em um espectrofotômetro FT-IR Nicolet 6700, empregando pastilhas de KBr. A faixa espectral variou de 4000 a 500 cm^{-1} e os espectros foram obtidos com 64 scans e 4 cm^{-1} de resolução.

Adicionalmente, estimou-se a área superficial específica e o volume dos poros através de isotermas de adsorção-dessorção de nitrogênio, obtidas a 196 °C, em um analisador Micromeritics ASAP 2420. Os métodos de BET (Brunauer-Emett-Teller) e BJH (Barret-Jones-Halenda) foram aplicados, respectivamente, para estimar a área superficial específica e o volume dos poros.

Ensaio de adsorção

Ensaio de adsorção foram realizados para avaliar a capacidade adsorvente das amostras de biochar produzidas a partir do resíduo florestal do eucalipto e suas partes em relação ao fármaco ácido acetilsalicílico (AAS). Adicionalmente, realizou-se ensaio de adsorção com duas amostras de biochar produzidas a partir do resíduo do eucalipto (400 °C/30 min), lavadas por 1 h em banho ultrassônico e secas em estufa (100°C/2h). Uma amostra foi lavada com água destilada e a outra, com uma solução de H_3PO_4 2 M. Uma amostra de carvão ativado comercial granular foi também utilizada para fins de comparação. Ácido acetilsalicílico (Sigma-Aldrich, pureza maior que 99%) foi utilizado para preparar a solução sintética do fármaco.

Para cada experimento, foram usados erlenmeyers contendo 100 mL de solução de AAS com concentração inicial de 50 mg.L^{-1} , valor que reproduz a concentração encontrada em águas superficiais, (Garza-Campos et al.; 2016) e 12 g.L^{-1} de adsorvente (sob a forma granular). A mistura foi mantida em incubadora shaker (Tecnal/TE420), sob agitação orbital de 120 rpm, temperatura constante de 30 °C e pH natural da solução próximo a $8,0 \pm 0,5$ (pHmetro Hanna/pH21). Alíquotas foram retiradas periodicamente para determinação da concentração residual do fármaco até uma condição de equilíbrio ser atingida em cada sistema. Para eliminação de quaisquer impurezas no sobrenadante, as misturas foram centrifugadas (centrífuga Hermle/Z 216 MK) a 3000 rpm durante 15 min e posteriormente filtradas empregando filtro para seringa de membrana PES (0,22 μm de porosidade), sendo a concentração residual de AAS mensurada em espectrofotômetro UV-Vis (Spectramax M2/Molecular Devices) no comprimento onda de máxima absorbância, previamente determinado, 229 nm (Ries et al.; 2020).

A eficiência de remoção (E%) de cada bioadsorvente foi avaliada empregando a Equação 2, dada abaixo.

$$E (\%) = (C_o - C_f / C_o) \times 100 \quad (2)$$

Onde: C_o é a concentração inicial de AAS em mg.L^{-1} e C_f é a concentração final (residual) de AAS em mg.L^{-1} para cada ensaio.

Resultados e Discussão

Análise Termogravimétrica

Análise termogravimétrica (TGA e DTA) do resíduo e suas partes foi empregada para avaliar a decomposição térmica destes materiais. Estudos prévios mostram que a biomassa do eucalipto é constituída por uma mistura de hemiceluloses, celulose, lignina e extrativos (moléculas orgânicas de baixa massa molecular e compostos voláteis). Além disso, estudos referentes à degradação térmica de diferentes biomassas lignocelulósicas têm revelado uma ampla cadeia de reações, consequência da elevada complexidade química apresentada por tais compostos, e das condições operacionais empregadas no processo (Wang *et al.*; 2017). Dessa forma, a curva termogravimétrica obtida pode incluir a sobreposição de vários eventos térmicos relacionados à decomposição de cada componente.

A Figura 2 exhibe as curvas referentes à perda de massa (TGA) e à análise térmica diferencial (DTA) do resíduo do eucalipto e suas partes. Pode-se observar um comportamento similar para ambos, com perda de massa ocorrendo em três estágios. Os diferentes estágios estão relacionados com o comportamento térmico apresentado pelos principais constituintes da biomassa lignocelulósica, o qual reflete a complexidade da estrutura química dos mesmos (Quan; Gao; Song; 2016). De acordo com estudos realizados, a composição química média da madeira de diversas espécies de eucalipto é: 4% de extrativos, 22% de hemiceluloses, 47% de celulose e 27% de lignina total (Pereira *et al.*; 2013; Protásio *et al.*; 2019).

O primeiro estágio (entre aproximadamente 40 e 141 °C) é atribuído à volatilização da água adsorvida nas fibras, com perda de massa média de 11%, sem diferença significativa entre as amostras estudadas.

O segundo estágio, observado entre cerca de 141 a 189 °C, pode ser atribuído à volatilização de compostos orgânicos de baixa massa molecular, com uma perda de massa variando de 1-3%.

Na sequência, o terceiro e principal evento de degradação térmica, entre aproximadamente 189 e 394 °C, é representado por dois picos sobrepostos. O primeiro pico, com máximo entre 276-290 °C, e perda de massa variando entre 15-19%, pode ser atribuído à despolimerização das hemiceluloses, polímeros mais susceptíveis à ação do calor devido à estrutura menos complexa apresentada. Já o segundo e mais intenso pico pode ser atribuído à despolimerização da celulose

(polímero com maior complexidade estrutural comparado às hemiceluloses), e início da degradação da lignina, com perdas de massa mais significativas variando entre 23-32%. Temperaturas máximas de decomposição para este pico (T_{pico}) podem ser observadas nas curvas de DTA em 343, 346, 358 e 361 °C exibidas pelas folhas, galhos, cascas e resíduo, respectivamente. Os maiores valores exibidos pelo resíduo e pelas cascas podem estar relacionados com o maior conteúdo de lignina apresentado pelos mesmos. Resultado similar foi encontrado por Fonseca-Prieto et al. (2013) ao estudar a decomposição térmica de resíduos do agave. A lignina, entre os três polímeros constituintes da biomassa lignocelulósica, é a que exibe maior estabilidade térmica, consequência da complexa rede polimérica que apresenta, constituída pela interligação de várias moléculas aromáticas. Este polímero, diferentemente das hemiceluloses e celulose, sofre decomposição térmica ao longo de uma ampla faixa de temperatura, de 160 °C a 900 °C, com uma reduzida perda de massa, contribuindo majoritariamente para a produção da fase sólida (biochar) (Quan; Gao; Song; 2016; Yang et al.; 2007). Considerando as perdas de massa verificadas no segundo e terceiro estágios, evidencia-se a baixa contribuição da celulose e hemiceluloses para o rendimento da fase sólida.

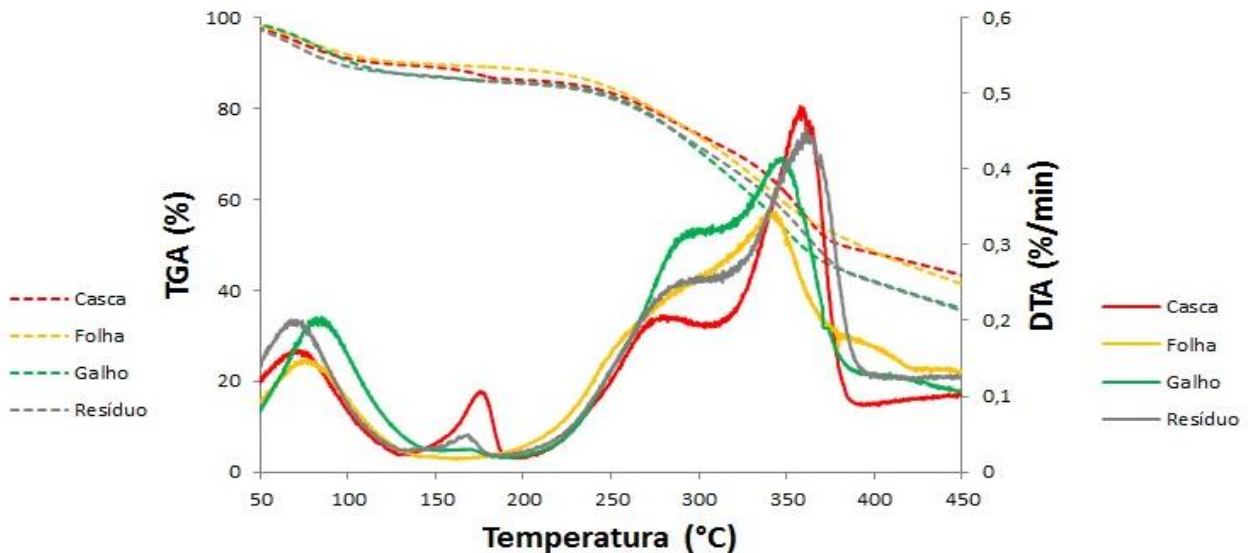


Figura 2: Curvas de perda de massa (TGA) e de análise térmica diferencial para o resíduo do eucalipto e suas partes.

De acordo com os resultados obtidos através da análise termogravimétrica, a temperatura de 400 °C foi escolhida para a realização dos primeiros ensaios de pirólise.

Caracterização dos bioadsorventes - Rendimento da fase sólida

A Figura 3 apresenta o rendimento da fase sólida (biochar) obtido através da pirólise do resíduo do eucalipto e suas partes em diferentes tempos de residência (5, 15 e 30 minutos), empregando a temperatura de 400 °C. A partir da análise dos resultados, observa-se não haver diferença significativa entre os tempos de residência empregados. Por outro lado, constata-se uma diferença em relação à natureza das biomassas, sendo obtidos os seguintes rendimentos: 36,1%; 33,1%; 32,8% e 29,8% para cascas, resíduo, folhas e galhos, respectivamente. Possivelmente, uma diferença na composição química das biomassas explica o comportamento observado, pois um maior teor de lignina contribui para maior resistência à degradação térmica, o que aumenta a quantidade de biochar produzido durante a pirólise (Protásio et al.; 2019). Conforme visto na análise termogravimétrica, o resíduo e as cascas apresentam as maiores temperaturas de degradação para o terceiro pico, o que pode estar relacionado com um maior conteúdo de lignina nestas biomassas, acarretando, por consequência, um maior rendimento da fase sólida.

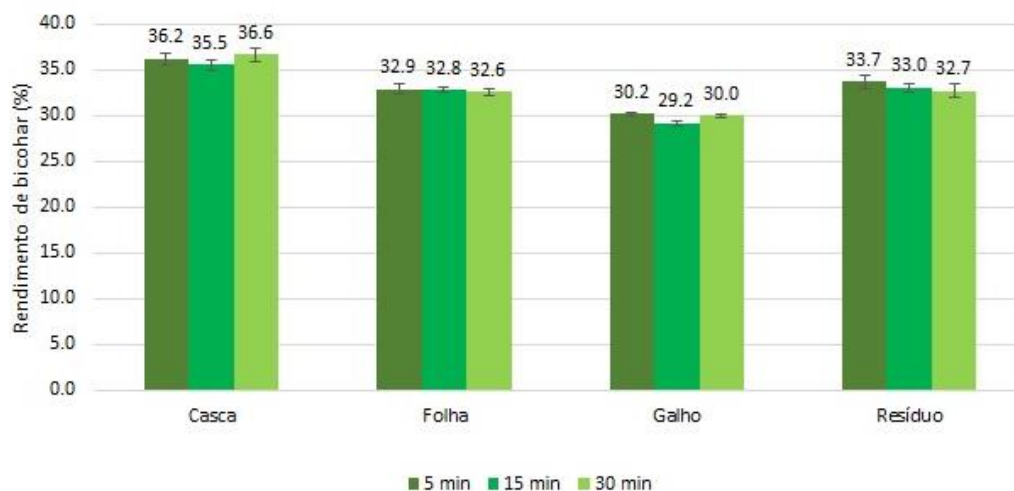


Figura 3: Rendimento de biochar obtido através da pirólise do resíduo do eucalipto e suas partes. Temperatura de pirólise de 400 °C e diferentes tempos de residência (5, 15 e 30 minutos).

Além disso, os resultados obtidos na análise imediata [umidade (U), cinzas (C), matéria volátil (MV) e carbono fixo (CF)], exibidos na Tabela 1, revelam que as cascas seguidas pelo resíduo e folhas apresentam os maiores teores de cinzas, 6,2%; 3,9% e 3,7%, respectivamente. Altos teores de cinza na biomassa contribuem para o rendimento da fase sólida (Ábrego et al.; 2019). A Tabela 1 também mostra que cascas, folhas e resíduo exibem os menores teores de matéria volátil (79,9%; 81,0% e

81,1%, respectivamente) em comparação com os galhos (85,1%), o que está provavelmente associado com o maior conteúdo de lignina dessas biomassas. Dessa forma, é de se esperar que estas biomassas apresentem maiores rendimentos da fase sólida, conforme observado na Figura 3.

Tabela 1: Análise imediata para o resíduo do eucalipto e suas partes.

Biomassa	% U	% C	% MV	% CF
Resíduo	10,1	3,9	81,1	15,0
Cascas	10,2	6,2	79,9	13,9
Folhas	9,1	3,7	81,0	15,3
Galhos	10,4	1,9	85,1	13,0

Caracterização dos bioadsorventes – Espectroscopia de FT-IR

A Figura 4 apresenta os espectros de infravermelho das amostras de biochar obtidas a partir do resíduo do eucalipto e suas diferentes partes, após pirólise a 400 °C e 30 minutos de tempo de residência [biochar do resíduo (R30), biochar da casca (C30), biochar da folha (F30) e biochar do galho (G30)]. Esta análise foi empregada para avaliar a presença de grupos funcionais orgânicos na superfície das amostras de biochar, e a atribuição das bandas foi realizada de acordo com a literatura (Yang et al.; 2007; Quan; Gao; Song; 2016; Laccarino; Gautam; Sarathy; 2021; Gautam et al.; 2021). As principais bandas foram relacionadas à presença de hemiceluloses, celulose e lignina, componentes majoritários das biomassas estudadas. Para todas as amostras, a existência de uma banda larga entre, aproximadamente, 3512 e 3234 cm^{-1} foi atribuída à vibração de estiramento de OH, devido à presença de grupos fenólicos (lignina) e hidroxílicos (hemiceluloses e celulose). Na sequência, os dois pequenos picos exibidos em aproximadamente 3055 cm^{-1} e 2914 cm^{-1} podem ser atribuídos ao estiramento de C-H presente em hidrocarbonetos aromáticos e não aromáticos, e a banda exibida em torno de 2030 cm^{-1} (mais visível para as amostras de biochar produzidas a partir das cascas, folhas e galhos) foi atribuída à vibração de C=O presente em hemiceluloses e celulose. Os dois picos observados em torno de 1616 cm^{-1} e 1425 cm^{-1} foram atribuídos ao estiramento de C=C presente em aromáticos. Comparativamente, três picos foram observados para as amostras de biochar do resíduo e das cascas em detrimento das amostras de biochar das folhas e galhos: o pico a 1315 cm^{-1} , atribuído ao estiramento de C-O presente em fenóis, e os picos em 874 e 781 cm^{-1} atribuídos ao estiramento de C-H em aromáticos. O pico adicional em torno de 780 cm^{-1} , detectado para todas as amostras, é atribuído ao estiramento de C-C. Para além da complexidade apresentada pelos espectros de FT-IR, pode-se constatar que o biochar proveniente do resíduo apresentou maior

similaridade com o biochar produzido a partir das cascas, e ambos se mostraram enriquecidos em compostos aromáticos formadores da lignina, polímero mais resistente à degradação térmica, e em grupos funcionais contendo oxigênio (tais como C=O de ácidos carboxílicos, éteres e ésteres, OH de água e fenóis e C-O de fenóis). Cabe ressaltar que apesar da Figura 4 apresentar apenas os espectros de FT-IR das amostras de biochar produzidas em 30 minutos de pirólise, análises foram realizadas também com as amostras produzidas em 5 e 15 minutos, sendo que a única diferença detectada foi em relação à intensidade dos picos exibidos: em geral quanto maior o tempo de residência, menor a intensidade dos picos, o que se pode relacionar com a maior degradação dos polímeros constituintes (hemiceluloses, celulose e lignina). A Figura 5 apresenta o espectro de FT-IR do carvão ativado comercial granular empregado para fins de comparação. É possível perceber que a maioria dos picos é perdida, ou pelo menos reduzida, após o processo de ativação, revelando a degradação de muitos grupos funcionais existentes na matéria prima precursora.

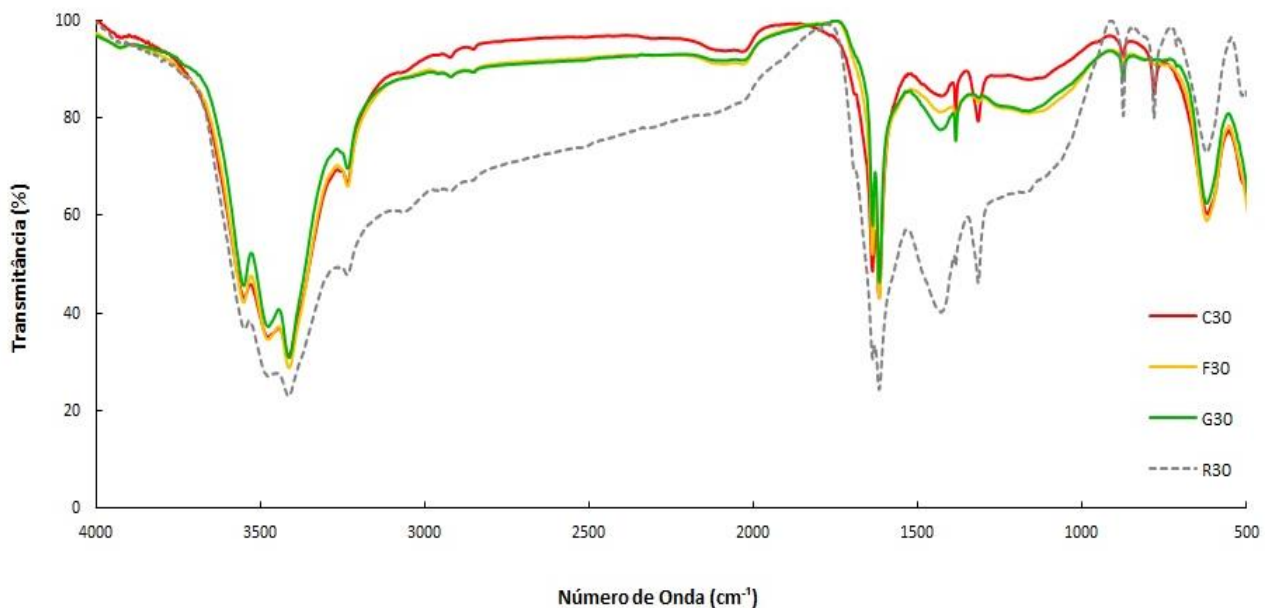


Figura 4: Espectros de FT-IR das amostras de biochar obtidas do resíduo do eucalipto e suas partes após pirólise a 400 °C e 30 minutos de tempo de residência. C30: biochar da casca; F30: biochar da folha; G30: biochar do galho e R30: biochar do resíduo como um todo.

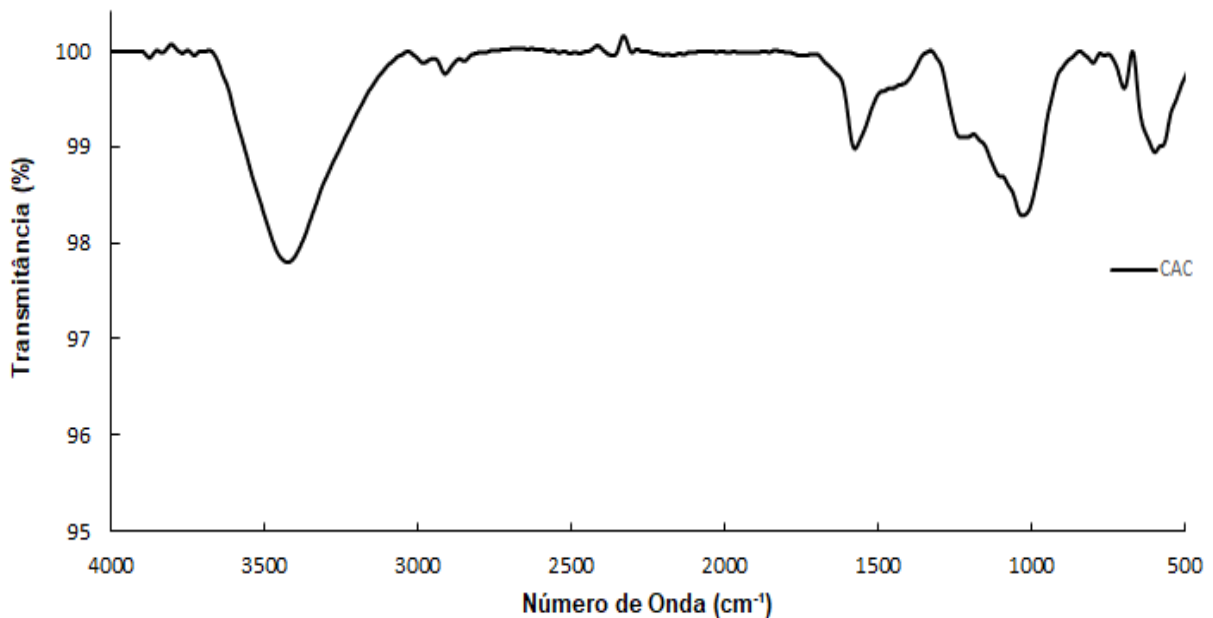


Figura 5: Espectro de FT-IR de amostra de carvão ativado comercial.

Caracterização dos bioadsorventes – Análise textural

Com relação à análise textural, a amostra de carvão ativado comercial apresentou um valor de $860 \pm 7 \text{ m}^2/\text{g}$ para a área superficial e um volume de poro de $0,212 \pm 0,001 \text{ cm}^3/\text{g}$, enquanto o biochar produzido a partir da pirólise do resíduo a $400 \text{ }^\circ\text{C}$ e 30 minutos apresentou o maior valor entre as amostras de biochar produzidas ($8,06 \pm 0,09 \text{ m}^2/\text{g}$ para a área superficial e $0,00145 \text{ cm}^3/\text{g}$ para o volume do poro).

Ensaio de adsorção – Remoção de AAS

A Figura 6 apresenta a eficiência de remoção do AAS obtida para os seguintes adsorventes: biochar do resíduo (R400/30), biochar do resíduo lavado com água (R400/30/H₂O), biochar do resíduo lavado com H₃PO₄ (R400/30/H⁺) e carvão ativado comercial granular (CACG). As demais amostras de biochar apresentaram eficiências inferiores a 15%, e não foram incluídas na figura. O biochar obtido a partir do resíduo do eucalipto a $400 \text{ }^\circ\text{C}/30 \text{ min}$ foi o que exibiu maior % de remoção em relação aos demais produzidos (16,9%). Justifica-se esse resultado em função da área superficial e da presença de grupos funcionais orgânicos na superfície do material. O biochar R400/30 foi o que apresentou maior área superficial e maior volume de poro entre os demais, fazendo com que mais

sítios ativos fiquem disponíveis para a adsorção. Além disso, o seu espectro de FT-IR revelou a presença de grupos funcionais aromáticos e de grupos funcionais contendo oxigênio. Essas duas características atuam juntas para a adsorção da molécula de AAS. Por outro lado, as amostras de biochar lavadas apresentaram eficiências maiores e mais significativas: a amostra tratada com água removeu 37,3% e a tratada com H_3PO_4 removeu 53,3%. Esse resultado se deve provavelmente ao aumento da área superficial, como consequência das lavagens, e de alterações na natureza e quantidade dos grupos funcionais de superfície, gerados pelo tratamento com H_3PO_4 . De acordo com a literatura (Torrellas et al.; 2015), o ácido fosfórico é um forte agente oxidante, responsável por adicionar grupos funcionais oxigenados na superfície de adsorventes, favorecendo a adsorção de moléculas polares como o AAS. Tanto a área superficial quanto o espectro de FT-IR para determinação de grupos funcionais precisam ser obtidos para confirmação da hipótese levantada.

Uma eficiência superior a 50% evidencia que o biochar produzido a partir do resíduo do eucalipto apresenta potencial para a remoção de AAS, apesar de estar abaixo da exibida pelo carvão ativado comercial (93,6%). Além disso, os experimentos mostraram que o tratamento da superfície do biochar com agentes oxidantes pode aumentar significativamente a interação com o adsorbato, devido à adição de grupos funcionais superficiais, conduzindo a uma remoção mais eficiente. Outra proposta para melhorar a eficiência é aumentar a temperatura de pirólise. Trabalhos na literatura (Chen et al.; 2014) mostram que temperaturas maiores geram menores rendimentos da fase sólida, porém produzem um material com maior área superficial e maior porosidade, características fundamentais para a adsorção.

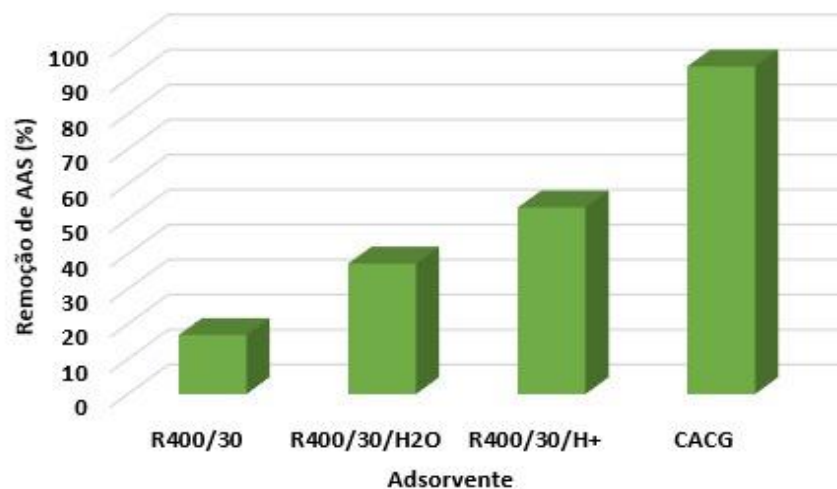


Figura 6: Percentual de remoção de AAS utilizando diferentes adsorventes obtidos através de pirólise a 400°C por 30 min (R400/30: sem ativação, R400/30/H₂O: lavado com água e R400/30/H⁺: ativado com ácido fosfórico), e CACG carvão ativado comercial granular.

Comentários finais

O estudo realizado comprovou a possibilidade de emprego do resíduo da colheita do eucalipto para a produção de bioadsorvente de baixo custo. Os resultados alcançados mostraram que o biochar obtido a partir do resíduo do eucalipto à 400°C e 30 min foi o que apresentou maior eficiência de remoção do ácido acetilsalicílico, e que o tratamento com ácido fosfórico aumentou significativamente o seu desempenho, demonstrando o potencial desse resíduo para a produção de bioadsorvente. Como a eficiência apresentada foi inferior a do carvão ativado comercial, pensa-se em melhorar a capacidade de adsorção, através do aumento da temperatura de pirólise e do uso de agentes oxidantes, uma vez que ambos são responsáveis pelo aumento da área superficial e pela adição de grupos funcionais oxigenados superficiais, características essenciais para o processo de adsorção.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à empresa CMPC Celulose Brasil pelas amostras de resíduo florestal de eucalipto cedidas, ao LAMAT/UFRGS pela realização das análises térmicas e de espectroscopia FT-IR, e à UERGS pelas bolsas de iniciação científica concedidas.

Referências Bibliográficas

- Ábrego, J. et al.; 2019. Heat requirement for fixed bed pyrolysis of beechwood chips. *Energy*, v. 178, p. 145-157.
- Ahmed, M. J.; Hameed, B. H.; 2018. Removal of emerging pharmaceutical contaminants by adsorption in a fixed- bed column: a review. *Ecotoxicol. Environ*, vol. 149, p. 257-266.
- Alipoori, S. et al.; 2021. Polymer-Based Devices and Remediation Strategies for Emerging Contaminants in Water. *Applied Polymer Materials*, v. 3, p. 549-577.
- Andrade, J. R. de. et al.; 2018. Adsorption of Pharmaceuticals from Water and Wastewater Using Nonconventional Low-Cost Materials: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 57, p. 3103-3127.
- Borges, R. M. et al.; 2016. Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 709-720.
- Broséus, R. et al.; 2019. Ozone oxidation of pharmaceuticals, endocrine disruptors and pesticides during drinking water treatment. *Water Research*, v. 43, p. 4707-4717.

- Burakov, A. E. et al.; 2018. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 148, p. 702-712.
- Chandrasekaran, A.; Ramachandran, S.; Subbiah, S.; 2018. Modeling, experimental validation and optimization of *Prosopis juliflora* fuelwood pyrolysis in fixed-bed tubular reactor. *Bioresource Technology*, v. 264, p. 66-77.
- Chen, T. et al.; 2014. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. *Bioresource Technology*, v. 164, p. 47-54.
- Cooney, D. O.; 1999. *Adsorption Design for Wastewater Treatment*. Boca Raton - Flórida: Lewis Publishers.
- Dotto, G. L.; McKay, G.; 2020. Current scenario and challenges in adsorption for water treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8, p. 1-6.
- Fakayode, O. A. et al.; 2020. Co-pyrolysis of lignocellulosic and macroalgae biomasses for the production of biochar - A review. *Bioresource Technology*, v. 297, p. 122408.
- Fermanelli, C. S. et al.; 2020. Pyrolysis and copyrolysis of three lignocellulosic biomass residues from the agro-food industry: A comparative study. *Waste Management*, v. 102, p. 362-370.
- Fonseca-Pietro, F. V. et al.; 2013. Characterization of lignocellulosic residues of henequen and their use as a bio-oil source. *Biomass Conv. Bioref.*, v. 4, p. 95-104.
- Garza-Campos, B. et al.; 2016. Salicylic acid degradation by advanced oxidation processes. Coupling of solar photoelectro-Fenton and solar heterogeneous photocatalysis. *Journal of hazardous materials*, v. 319, p. 34-42.
- Gautam, R. K. et al.; 2021. Biochar for remediation of agrochemicals and synthetic organic dyes from environmental samples: A review. *Chemosphere*, v. 272.
- Gholami, M. et al.; 2012. Performance evaluation of reverse osmosis technology for selected antibiotics removal from synthetic pharmaceutical wastewater. *Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, p. 9-19.
- Heberer, Th.; Reddersen, K.; Mechlinski, A.; 2002. From municipal sewage to drinking water: fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment in urban areas. *Water Science and Technology*, v. 46, n. 3, p. 81-88.
- Huerta-Fontanela, M.; Galceran, M. T.; Ventura, F.; 2011. Occurrence and removal of pharmaceuticals and hormones through drinking water treatment. *Water Research*, v. 45, n. 3, p. 1432-1442.
- Iaccarino, A.; Gautam, R. K.; Sarathy, S. M.; 2021. Bio-oil and biochar production from halophyte biomass: effects of pre-treatment and temperature on *Salicornia bigelovii* pyrolysis. *Sustainable Energy Fuels*, v. 5, n. 8, p. 2234-2248.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2019. *Produção da extração vegetal e da silvicultura*, v. 33, p. 1-8.

- Ismail, M. M. et al.; 2017. Remediation of a mixture of analgesics in a stirred-tank photobioreactor using microalgal-bacterial consortium coupled with attempt to valorise the harvested biomass. *Bioresource Technology*, v. 232, p. 264-371.
- Jones, O. A. H.; Voulvoulis, N.; Lester, J. N.; 2005. Human Pharmaceuticals in Wastewater Treatment Processes. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 34, n. 4, p. 401-427.
- Kanakaraju, D.; Glass, B. D.; Oelgemoller, M.; 2018. Advanced oxidation process-mediated removal of pharmaceuticals from water: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 219, p. 189-207.
- Kumar, V.; Chopra, A. K.; 2018. Phytoremediation potential of water caltrop (*Trapa natans* L.) using municipal wastewater of the activated sludge process-based municipal wastewater treatment plant. *Environmental Technology*, v. 39, n. 1, p. 12-23.
- Leonel, A. G.; Mansur, A. A. P.; Mansur, H. S.; 2021. Advanced Functional Nanostructures based on Magnetic Iron Oxide Nanomaterials for Water Remediation: A Review. *Water Research*, v. 190.
- Martini, S.; Afroze, S.; Roni, K. A.; 2020. Modified eucalyptus bark as a sorbent for simultaneous removal of COD, oil, and Cr (III) from industrial wastewater. *Alexandria Engineering Journal*, v. 59, p. 1637-1648.
- Mo, J. et al.; 2018. A review on agro-industrial waste (AIW) derived adsorbents for water and wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, v. 227, p. 395-405.
- Mompelat, S.; Bot, B. L.; Thomas, O.; 2009. Occurrence and fate of pharmaceutical products and by-products, from resource to drinking water. *Environment International*, v. 35, p. 803-814.
- Núñez-Regueira, L.; 2004. Energy evaluation of forest residues originated from shrub species in Galicia. *Bioresource Technology*, v. 91, n. 2, p. 215-221.
- Oh, B. S. et al.; 2016. Optimization of wastewater reclamation and reuse system using membrane filtration and oxidation processes: removal of pharmaceuticals. *Desalination and Water Treatment*, v. 57, p. 10146-10151.
- Pereira, B. L. C. et al.; 2013. Estudo da degradação térmica de madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria. *Revista Árvore*, v. 37, n. 3, p. 567-576.
- Protásio, T. de P. et al.; 2019. Assessing Proximate Composition, Extractive Concentration, and Lignin Quality to Determine Appropriate Parameters for Selection of Superior Eucalyptus Firewood. *BioEnergy Research*, v. 12, p. 629-641.
- Quan, C.; Gao, N.; Song, Q.; 2016. Pyrolysis of biomass components in a TGA and a fixed-bed reactor: Thermochemical behaviors, kinetics, and product characterization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 121, p. 84-92.
- Ries, L. A. da S. et al.; 2020. Remoção de ácido acetilsalicílico empregando biofilme microbiano desenvolvido naturalmente em areia de filtros de estações de tratamento de água – um estudo comparativo com diferentes suportes. In: Neto, B. R. de S. (org). *Projetos inovadores e produção intelectual na microbiologia*. Ponta Grossa – PR: Atena, cap. 15, p. 157-175. Disponível em: <https://sistema.atenaeditora.com.br/index.php/admin/api/artigoPDF/43345>. Acesso em: 16 de junho de 2021.

- Rosset, M. et al.; 2020. Effect of concentration in the equilibrium and kinetics of adsorption of acetylsalicylic acid on ZnAl layered double hydroxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8.
- Silva, F. de C. E.; 2016. Potenciais e desafios da pirólise rápida aplicada aos resíduos florestais do eucalipto. Trabalho de diplomação em Engenharia Química, Escola de Engenharia de Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Silveira, J. H. da. et al.; 2020. Characterization of residual biomass from the harvest of Eucalyptus saligna for thermal conversion processes. *Revista Eletrônica de Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 24. ed. 13.
- Song, X. et al.; 2019. Electrochemical degradation of the antibiotic chloramphenicol via the combined reduction-oxidation process with Cu-Ni/graphene cathode. *Electrochimica Acta*, v. 330.
- Tejada-Tovar, C. et al.; 2021. Potential Use of Residual Sawdust of Eucalyptus globulus Labill in Pb (II) Adsorption: Modelling of the Kinetics and Equilibrium. *Applied Sciences*, v. 11, n. 3125.
- Tiwari, B. et al.; 2016. Review on Fate and Mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. *Bioresource Technology*, v. 224, p. 1-12.
- Torrellas, S. A. et al.; 2015. Chemical-activated carbons from peach stones for the adsorption of emerging contaminants in aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, v. 279, p. 788-798.
- Verma, M.; Haritash, A. K.; 2020. Photocatalytic degradation of Amoxicillin in pharmaceutical wastewater: A potential tool to manage residual antibiotics. *Environmental Technology & Innovation*, v. 20.
- Vona, A. et al.; 2015. Comparison of different removal techniques for selected pharmaceuticals. *Journal of Water Process Engineering*, v. 5, p. 48-57.
- Wang, S. et al.; 2017. Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 62, p. 33-86.
- Xiang, Y. et al.; 2019. Carbon-based materials as adsorbent for antibiotics removal: Mechanisms and influencing factors. *Journal of Environmental Management*, v. 237, p. 128-138.
- Yang, H. et al.; 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, v. 86, p. 1781-1788.
- Zhi, D. et al.; 2019. Current progress in the adsorption, transport and biodegradation of antibiotics in soil. *Journal of Environmental Management*, v. 251.
- Ziylan, A.; Ince, N. H.; 2011. The occurrence and fate of anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in sewage and fresh water: treatability by conventional and non-conventional processes. *Journal of hazardous materials*, v. 187, n. 1-3, p. 24-36.

EXTRAÇÃO DO INIBIDOR FURFURAL A PARTIR DO HIDROLISADO DE BIOMASSA DA CASCA DO ARROZ

| ID 19366 |

**1Victor de Freitas Piva, 2Vanessa de Souza Reis Melo, 3Bruna Vieira Cabral, 4Diego Andrade
Lemos**

1Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: victorpivaeq@gmail.com; 2Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: vanessa.melo@uftm.edu.br; 3Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: bruna.cabral@uftm.edu.br; 4Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: diego.lemos@uftm.edu.br

Palavras-chave: furfural; biomassa residual; extração líquido-líquido.

Resumo

Com a iminente escassez de energia não renovável e a busca por boas práticas ambientais levam governo e sociedade a buscar pelo aumento da porcentagem do uso de energias renováveis. Uma alternativa demonstrada ao longo dos anos é a produção de etanol. Mais recentemente, a produção de etanol de segunda geração vem mostrando ser uma alternativa ao realizar a transformação de resíduos lignocelulósicos em combustível renovável, dando uma destinação correta ou agregando valor a rejeitos descartados erroneamente. A casca de arroz possui grande potencial devido a sua disponibilidade e composição. Elas representam uma alternativa de matéria-prima para a produção de combustíveis renováveis principalmente àquelas regiões onde não há grande produção da cana-de-açúcar. A conversão da biomassa lignocelulósica a biocombustível é composta por algumas etapas, dentre elas: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e uma etapa de separação. Durante a etapa de pré-tratamento ocorre a formação de produtos de degradação (compostos inibitórios), sendo esse um dos maiores problemas associado a este processo. Esses compostos reduzem a produtividade e/ou rendimento das próximas etapas, o que coloca um desafio técnico significativo para a produção de etanol de segunda geração de forma viável e sustentável. Uma vez que fica praticamente impossível pensar em um alto rendimento de açúcar a partir de materiais lignocelulósicos sem a formação do furfural. Já que o furfural é um produto da decomposição primária de pentoses, e, portanto, deverá estar presente em hidrolisados. Dentre suas características, o efeito do furfural pode ser sentido a partir de concentrações baixas da ordem de 1 g/L, causando efeitos negativos na viabilidade das leveduras durante a fermentação, diminuição na taxa de crescimento ou taxa de fermentação volumétrica. Diante do exposto, o objetivo do trabalho

é retirar o inibidor furfural presente no caldo lignocelulósico após o processo de pré-tratamento através da utilização de um solvente orgânico por meio de extração líquido-líquido para a melhoria no processo de produção de etanol de segunda geração. Em primeiro lugar foram feitos testes de extração em diferentes razões de solução aquosa/ agente extrator de modo a verificar a eficiência do processo extrativo. Em seguida, para a realização do pré-tratamento da casca de arroz moída e peneirada (biomassa) foi utilizado uma solução de ácido sulfúrico diluído (0,1 M). Após o pré-tratamento foram feitas as análises dos açúcares redutores totais e do inibidor furfural antes e após a extração. A quantificação dos açúcares redutores totais através do método reagente DNS demonstrou que a concentração de açúcar no caldo lignocelulósico não apresentou variação significativa entre a etapa pré e pós extração, e os valores ficaram dentro de desvio calculado. Com relação ao inibidor furfural, nos testes realizados com solução feita em laboratório, obteve-se uma remoção de até 62,3% quando a concentração inicial dele foi de 5 g/L. Já para os testes com o hidrolisado proveniente do pré-tratamento da casca do arroz, a máxima remoção obtida foi de 10,5%, porém a concentração inicial do furfural era de 1,643 g/L. Os resultados obtidos foram satisfatórios e indicaram a possibilidade do uso do ácido oleico como um agente extrator do inibidor furfural de hidrolisados lignocelulósicos, porém são necessários mais testes para se obter a melhor condição de processo.

Introdução

O Brasil tem destaque mundial no uso de energia renovável, sendo a mesma equivalente a 26,7% de toda matriz energética do país em 2019. Dentre estas, destaca-se o etanol da cana-de-açúcar correspondente a 60,7% da matriz (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2020). Porém a iminente escassez de energia não renovável e a busca por boas práticas ambientais levam governo e sociedade a buscar pelo aumento da porcentagem do uso de energias renováveis. Neste caso, uma alternativa é a melhoria na eficiência delas.

Um biocombustível é um combustível do tipo renovável que pode ser gerado a partir de diferentes tipos de fontes, principalmente as vegetais (MOTA; MONTEIRO, 2013). Dentre eles destacam-se o biodiesel, biogás e etanol. Quanto ao etanol, o processo produtivo mais estabelecido e viável no Brasil é a rota fermentativa utilizando sacarose de cana-de-açúcar (etanol primeira geração - 1G). Mesmo assim, novas tecnologias vêm surgindo com perspectiva de evolução do setor energético. Dentre estas, a produção de etanol celulósico ou etanol de segunda geração (2G), a partir dos resíduos da cana-de-açúcar, é uma importante alternativa sustentável para a obtenção deste tipo de biocombustível (AMORES et al., 2013). Neste contexto, surge a necessidade da viabilização de

novas fontes de energia renováveis, destacando-se a importância da energia oriunda da biomassa de outros resíduos agroindustriais (PERES; JUNIOR; GAZZONI, 2020).

O arroz é um dos principais cereais no consumo da população mundial e serve mais da metade dessa (WALTER; MARCHEZAN; DE AVILA, 2008), e o Brasil por sua vez destaca-se como o 9º país no ranking mundial na produção de arroz, liderando o ranking na América Latina, representando 1,6% da produção mundial (EMBRAPA, 2017). Por sua vez, o grão de arroz é constituído por uma camada protetora, a casca que representa cerca de 20% do peso do grão e de uma cariopse. Quanto aos seus constituintes, destacam-se a celulose e a lignina, que representam 38,4 e 29,4% de sua composição, respectivamente (REYES et al., 1998).

Faz-se necessário, portanto, destinar de maneira ecologicamente correta as cascas geradas nessa produção, pois o não cumprimento de um descarte correto ocasiona consequências adversas ao ambiente, como a poluição de solos e águas e a degradação dos mesmos. Fins habitualmente destinados a esses resíduos são a deposição das cascas no solo e/ou a queima desses resíduos. No primeiro caso, a decomposição é de aproximadamente 5 anos e emana alto volume de metano. Já no segundo caso a combustão desenfreada emite CO e CO₂ para a atmosfera (MAYER; HOFFMANN; RUPPENTHAL, 2006), estando o gás CO₂ entre os principais causadores do efeito estufa (IPCC, 2007). Dessa forma, a casca do arroz possui grande disponibilidade e alto índice de teor na composição por lignina e celulose. Sendo assim, ótimas alternativas para a produção de etanol de 2G, principalmente para regiões do país onde a cana-de-açúcar não é tão presente.

A conversão da biomassa lignocelulósica a biocombustível, o que define a produção de etanol de 2G, é composta por algumas etapas, dentre elas: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e uma etapa de separação/recuperação do produto. A etapa de pré-tratamento é responsável pela exposição da celulose e a solubilização da hemicelulose (CANILHA et al., 2012), obtendo assim um licor rico em açúcares de cinco carbonos (xilose e arabinose), sendo a fermentação destes açúcares realizada por leveduras específicas para obtenção do etanol (MARTIN et al., 2007; NAKASU et al., 2016; SANTOS et al., 2016; NAKANISHI et al., 2017).

A função do pré-tratamento é de expor ou separar as frações de lignina, celulose e hemicelulose, a fim de aumentar a digestibilidade nas etapas posteriores (RABELO, 2010). Assim, esta etapa destrói o complexo lignocelulósico, remove a lignina e a hemicelulose, reduz a cristalinidade da celulose e aumenta a porosidade da fibra (MAGALHÃES, 2011). Entretanto, a formação de produtos de degradação durante essa etapa é o maior problema associado a este processo (GÍRIO et al., 2010). Estes compostos inibitórios gerados apresentam concentração e tipo de inibidor dependente do tipo de biomassa e processo empregado no fracionamento (CHATURVEDI; VERMA, 2013). Os inibidores reduzem significativamente a taxa de crescimento celular, quantidade

de etanol produzida e/ou taxa de produção de etanol (PALMQVIST; HAGERDAL, 2000; ALMEIDA et al., 2007; JAYAKODY et al., 2011, 2013; LIU, 2011).

Dentre os pré-tratamentos existentes, o pré-tratamento ácido diluído apresenta alta solubilização da hemicelulose, alta digestibilidade da celulose e apresenta ser uma alternativa à periculosidade apresentada pelo pré-tratamento ácido concentrado (CARVALHEIRO; DUARTE; GÍRIO, 2008; GÍRIO et al., 2010). Os principais inibidores gerados no pré-tratamento de compostos lignocelulósicos são os furanos, compostos fenólicos e ácidos carboxílicos. Os componentes que mais impactam a cinética da levedura são: furfural, 5-hidroximetilfurfural, baunilha, siringaldeído e o coniferaldeído (ZAUTSEN, 2011). No aquecimento em meio ácido, polissacarídeos são hidrolisados, especialmente a hemicelulose, resultando em açúcares livres que podem ser degradados a furfural a partir de pentoses (QIAN et al., 2005).

Uma alternativa para contornar o problema dos inibidores no processo de produção de etanol 2G é sua retirada do caldo hidrolítico. Para isso, um instrumento utilizado pode ser a extração líquido-líquido. Este processo consiste na existência de duas fases no processo de maneira que os açúcares fermentescíveis estejam em uma fase (fase aquosa) enquanto uma segunda fase (fase orgânica) encarrega-se de extrair parte dos inibidores do caldo. De uma maneira geral, o solvente orgânico deve ser pouco miscível com a água; não extrair os açúcares do caldo; extrair eficientemente a molécula (inibidor) desejada e ser atóxico às leveduras (MALINOWSKI, 2001). Entretanto, biocompatibilidade é a característica mais importante neste tipo de processo, exceto quando o solvente não entra em contato direto com o microrganismo (OFFEMAN et al., 2010).

A busca por um extrator que apresente características adequadas ao processo é uma dificuldade encontrada na maioria dos trabalhos encontrados na literatura (DAFOE e DAUGULIS, 2014; CHENG e WANG, 2010; OFFEMAN et al., 2010; OFFEMAN et al., 2008). O uso do ácido oleico é uma boa alternativa para reduzir os efeitos inibitórios sobre as células de levedura e proporcionar um melhor desempenho do processo de fermentação alcoólica extrativa. O fato do ácido oleico ser um composto não tóxico as leveduras e com alto ponto normal de ebulição (360 °C), auxilia no manuseio deste solvente no dia a dia em uma planta industrial, não levando risco as pessoas diretamente ligadas ao processo, além de ser separado do etanol e da água com maior facilidade (ZAUTSEN, 2011; LEMOS, 2017).

Material e Métodos

Preparação da amostra

Foi utilizado uma biomassa advinda de uma empresa de beneficiamento de arroz da cidade de Uberaba/MG. Utilizou-se uma estufa circulação forçada de ar (Thelga, TE150CD) a 50°C por 48h para a secagem da biomassa até a umidade desejada. Posteriormente a mesma foi moída num moinho de facas (tipo willye – Fortinox FT-50). Para o peneiramento da biomassa foi utilizado uma peneira de diâmetro de abertura de 297 µm.

Preparação de solução de Furfural

As soluções de furfural foram preparadas em 3 diferentes concentrações, sejam elas 1, 3 e 5 g/L. Foi utilizado reagente analítico Furfural (pureza > 99% - Sigma Aldrich) e água destilada.

Pré-tratamento da amostra

Para a realização do pré-tratamento foi utilizado uma solução de ácido sulfúrico diluído (0,1 M). Para este teste foi pesado 25 g de biomassa moída e adicionado 100 ml de solução de ácido sulfúrico 0,1 M (relação de 1:5) num Erlenmeyer de 500 mL. Com o Erlenmeyer devidamente fechado, ele foi levado até uma autoclave para a realização do processo de pré-tratamento a uma pressão de 1 atm e 120°C por 30 minutos. Após esse tempo, a amostra foi retirada, filtrada e então obteve-se o hidrolisado para a próxima etapa.

Processo de extração do inibidor

A extração do tipo líquido-líquido foi realizada em tubos Falcon de 50 mL. Inicialmente foi medido em pipeta 5 mL de hidrolisado e colocado em tubo Falcon. Na sequência mediu-se 5 mL do agente extrator ácido oleico que também foi colocado no tubo Falcon e então essa mistura ficou sob agitação 60 segundos num agitador tipo Vórtex para garantir a mistura completa dos dois componentes. A mistura foi deixada em descanso para separação das duas fases e então retirou-se uma alíquota do hidrolisado residual para verificar a quantidade de furfural que permanecia na fase aquosa após a extração.

Metodologias analíticas

A análise dos açúcares redutores totais e do inibidor furfural foram realizados antes e posteriormente à extração. Para os açúcares totais o passo-a-passo do método está ilustrado na figura a seguir:

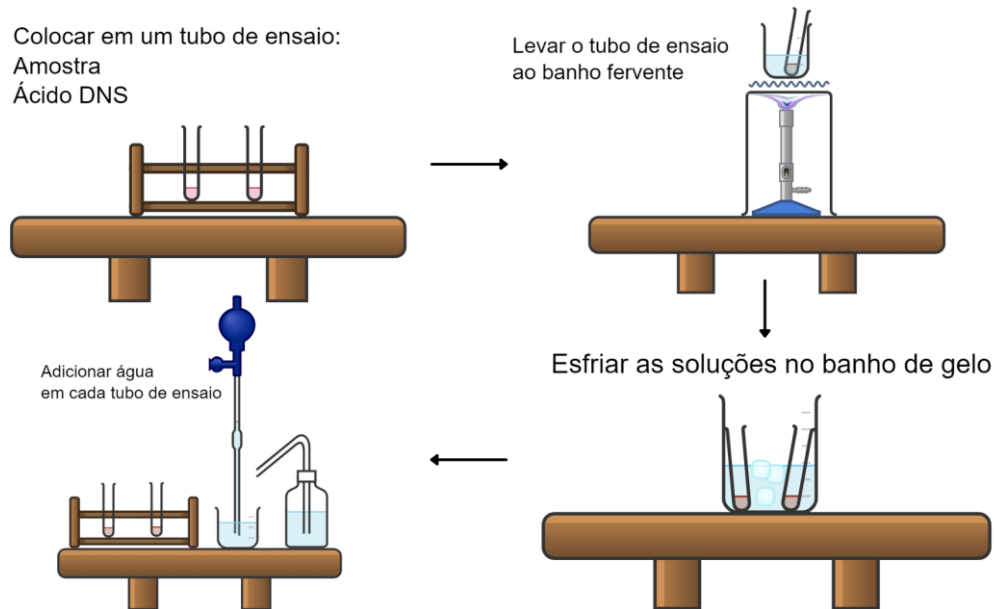


Figura 1: Etapas do método DNS para quantificação dos açúcares redutores totais.

Os açúcares foram medidos através do método por reagente DNS (EMBRAPA, 2013). Inicialmente, diluiu-se a amostra de hidrolisado lignocelulósico em 1:10 para que o valor ficasse dentro da curva de calibração feita previamente. Na sequência, acrescentou-se a amostra e reagente DNS em um tubo de ensaio que foi levado ao banho com água fervente por 5 minutos. Para interromper a reação da amostra e reagente DNS, o tubo de ensaio foi levado a um banho de gelo até esfriar. Em seguida, adicionou-se água destilada ao tubo e foi feita a leitura da amostra em espectrofotômetro a 540 nm para quantificar o açúcar redutor total presente.

E para a realização da quantificação do furfural foi adaptada a metodologia de Khabarov (2006). No início mediu-se 1 mL da amostra e 5 mL de acetato de mercúrio em um balão volumétrico de 50 mL e completou-se volume. Desta solução, foi retirado 1 mL e acrescentado 0,3 mL de ácido sulfúrico puro em um tubo de ensaio e levado a um banho com água fervente por 30 minutos. Após o aquecimento, transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 100 mL e o volume foi completado. Fez-se a leitura em espectrofotômetro a 238 nm para quantificação do furfural presente na amostra. O passo a passo desta análise está ilustrado na figura a seguir:

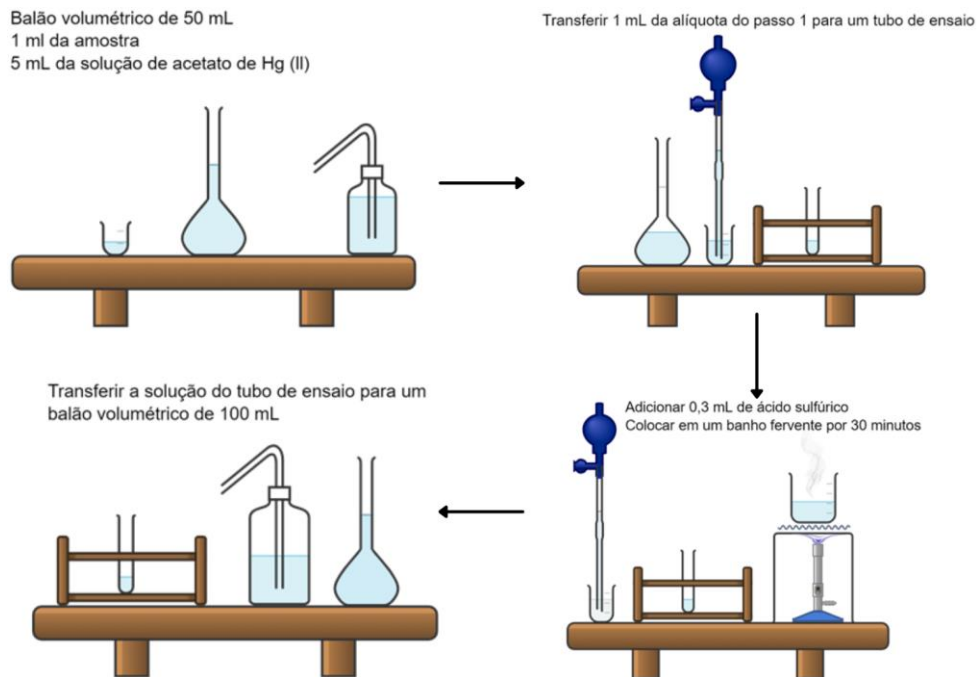


Figura 2: Etapas do método de quantificação do inibidor furfural.

Resultados e Discussão

Todos os procedimentos foram realizados utilizando biomassa casca de arroz moída com o diâmetro menor que 297 μm , e o pré-tratamento com ácido sulfúrico diluído (0,1 M).

A quantificação dos açúcares redutores totais através do método reagente DNS demonstrou que a concentração de açúcar no caldo lignocelulósico foi de 9,30 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ antes do processo de extração. Após realizada a extração por ácido oleico, a concentração de açúcar no caldo lignocelulósico foi de 9,14 g/L na proporção de 1 mL de solvente para 1 mL de caldo. Posteriormente, dobrou-se a proporção de solvente, e o resultado foi de 9,53 g/L de açúcar redutor total restante na amostra analisada. E por último, a proporção usada na extração foi de 1:3 de caldo e agente extrator e o resultado obtido foi de 9,49 g/L de açúcar. Os resultados descritos foram apresentados na figura 1, na qual fica claro que não houve remoção de açúcar redutor pelo ácido oleico durante a etapa de extração, uma vez que não houve variação significativa dos valores das concentrações de açúcar pré e pós extração que ficaram dentro de desvio calculado.

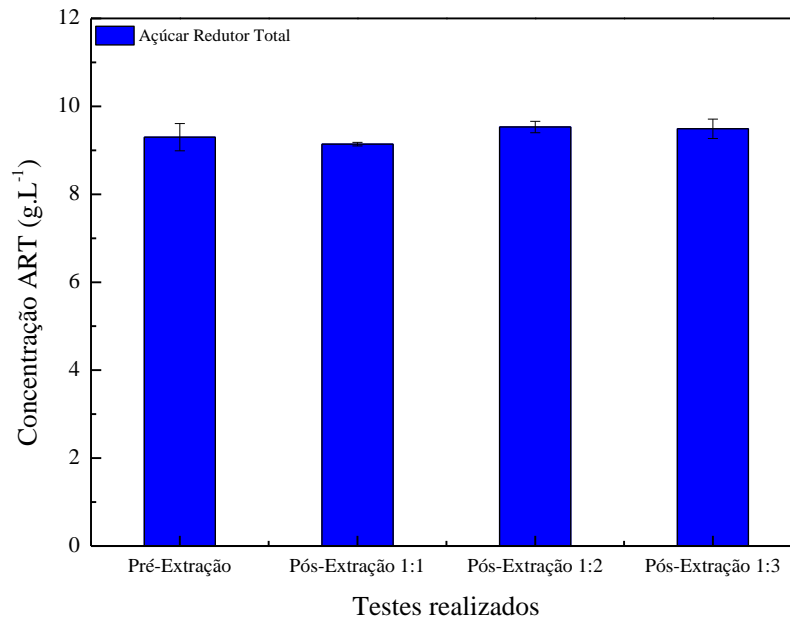


Figura 3: Concentrações de açúcares redutores totais antes e após a extração líquido-líquido com razão de volume solução aquosa/agente extrator de 1:1, 1:2 e 1:3.

Dessa forma, os resultados obtidos demonstram que o processo extrativo líquido-líquido usando ácido oleico como agente extrator não removeu açúcar do caldo, sendo essa uma importante característica para o processo segundo OFFEMAN et al. (2010).

A quantificação do furfural foi avaliada num primeiro momento com uma solução de água e furfural. A amostra 1 foi preparada com a concentração de 1 g.L⁻¹ de furfural, a amostra 2 e 3 com 3 g.L⁻¹ e 5 g.L⁻¹, respectivamente. Após os testes analíticos, foi verificado que as concentrações reais do inibidor furfural antes da extração foram respectivamente: 1,258 g.L⁻¹, 3,658 g.L⁻¹ e 5,008 g.L⁻¹.

Os valores da concentração do furfural após a extração com a proporção de 1 mL de caldo para 1 mL de solvente (1:1), para as amostras 1, 2 e 3, foram, respectivamente; 0,877 g.L⁻¹; 2,168 g.L⁻¹ e 3,311 g.L⁻¹. Estes valores representam uma remoção de 30,3% da amostra 1 em relação a solução inicial, de 40,7% para a amostra 2 e 33,8% para a amostra 3.

Partindo das mesmas amostras iniciais de solução de furfural e água, foi realizado também uma extração na proporção de 1:2. Os resultados encontrados para as concentrações de furfural após a extração foram de 0,661 g.L⁻¹ para a amostra 1; para a amostra 2 foi de 1,400 g.L⁻¹, e para a amostra 3 foi encontrado a concentração no valor de 1,888 g.L⁻¹. Assim, a remoção para cada uma das amostras em relação a solução inicial foi de 47,5%, 61,7% e 62,3%, respectivamente.

Esses resultados apontaram que o ácido oleico foi capaz de extrair o furfural de uma solução aquosa em concentrações próximas aquelas que são encontradas em hidrolisados reais (a partir de biomassa residual) chegando em valores superiores a 60% de remoção. Percebeu-se também, como pode ser visto na figura 4, que o aumento da razão entre solução aquosa e agente extrator resultou em maiores remoções em todos os casos, principalmente para a concentração inicial de 5,008 g.L⁻¹, que ao duplicar a quantidade de ácido oleico utilizado na extração, obteve-se aproximadamente o dobro de remoção do inibidor furfural.

Tabela 2: Concentrações de furfural antes e após a extração líquido-líquido com razão de volume solução aquosa/solvente de 1:1 e 1:2.

	Conc. Furfural Pré extração (g.L ⁻¹)	Conc. Furfural Pós extração (1:1) (g.L ⁻¹)	Conc. Furfural Pós extração (1:2) (g.L ⁻¹)
Solução Furfural (1 g.L ⁻¹)	1,258	0,877	0,661
Solução Furfural (3 g.L ⁻¹)	3,658	2,168	1,400
Solução Furfural (5 g.L ⁻¹)	5,008	3,311	1,888

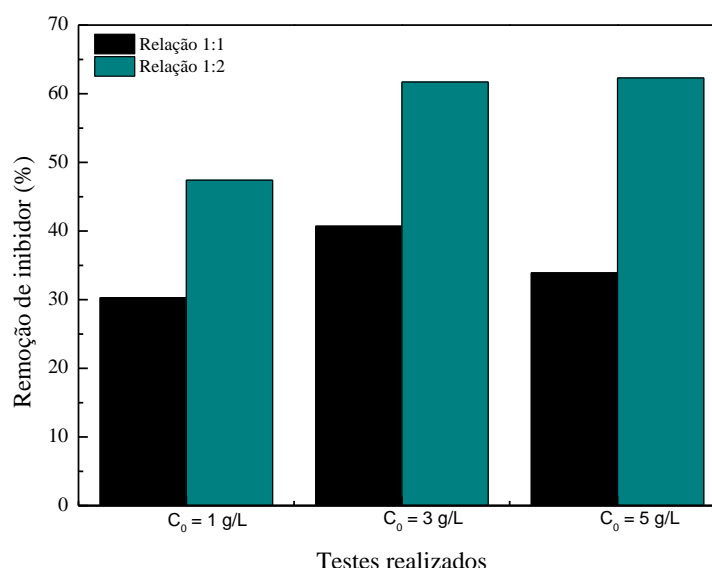


Figura 4: Porcentagem de remoção do inibidor furfural após a extração líquido-líquido com razão de volume solução aquosa/solvente de 1:1 e 1:2 em diferentes concentrações iniciais de solução.

Finalmente, após analisar a extração com soluções preparadas em laboratório, realizou-se os testes a partir do hidrolisado vindo da biomassa após o pré-tratamento com ácido diluído. O valor encontrado para a concentração do inibidor furfural antes da extração foi de 1,643 g.L⁻¹. Esse valor está próximo ao encontrado na literatura. Khamis et al. (2019) estudaram as concentrações de furfural presentes na casca e palha de arroz utilizando diferentes tipos de pré-tratamento e encontraram valores de concentrações de furfural a partir destas biomassas entre 0,3 a 3,5 g/L.

Na sequência, realizou-se 3 extrações, em duplicata, a partir desse hidrolisado real. As extrações foram realizadas nas proporções de hidrolisado: agente extrator de 1:1, 1:2 e 1:3. O valor obtido de furfural após a extração na razão de 1:1 foi de 1,617 g.L⁻¹, apresentando uma remoção de aproximadamente 1,6%. Já para a razão de 1:2 foi encontrado o valor de 1,545 g.L⁻¹ de furfural residual no hidrolisado, apresentando remoção de 5,9%. No último tópico do estudo, na razão de 1:3 foi encontrado o valor de 1,469 g.L⁻¹ para o furfural residual, contabilizando uma remoção de 10,5%.

Os valores de concentração de furfural residual e porcentagem de remoção de furfural do hidrolisado podem ser vistos em detalhes na Tabela 3 e Figura 5, respectivamente.

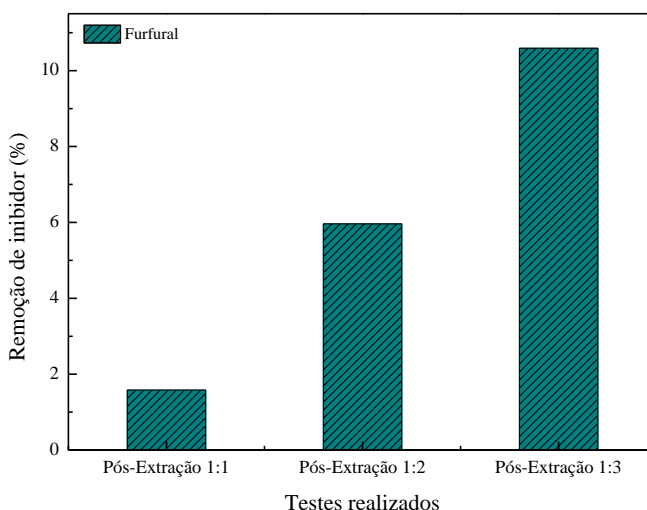


Figura 5: Porcentagem de remoção do inibidor furfural após a extração líquido-líquido com razão de volume solução aquosa/solvente de 1:1, 1:2 e 1:3 proveniente de hidrolisado a partir da biomassa de arroz.

Tabela 3: Concentrações do inibidor furfural no hidrolisado antes e após a extração líquido-líquido nas razões de caldo/agente extrator de 1:1, 1:2 e 1:3.

Conc. Furfural Pré extração (g.L ⁻¹)	Conc. Furfural Pós extração (1:1) (g.L ⁻¹)	Conc. Furfural Pós extração (1:2) (g.L ⁻¹)	Conc. Furfural Pós extração (1:3) (g.L ⁻¹)
1,643	1,617	1,545	1,469

Enfim, a remoção do furfural manteve o resultado das soluções de laboratório onde havia uma maior proporção de agente extrator, houve uma maior remoção do inibidor. Porém, o rendimento da remoção no hidrolisado lignocelulósico foi bem inferior àqueles encontrados anteriormente nas soluções preparadas com reagente. Uma possível explicação se deve ao fato de que o furfural no hidrolisado está misturado com muitas outras substâncias e isso pode comprometer a afinidade dele com o ácido oleico e acaba diminuindo a remoção do mesmo. Contudo, mesmo em uma baixa concentração no hidrolisado, o ácido oleico se mostrou eficiente na remoção do furfural, e além disso não removeu o açúcar presente.

Comentários finais

Os resultados obtidos foram satisfatórios e indicaram a possibilidade do uso do ácido oleico como um agente extrator do inibidor furfural de hidrolisados lignocelulósicos. Pois, além da extração do inibidor não houve retirada do substrato (açúcar redutor) do meio, o que favorece a fermentação subsequente para a produção do etanol de segunda geração. Os valores mesmo baixos, mostram um caminho para se obter melhores condições, como por exemplo, concentrar o hidrolisado antes do processo de extração ou mesmo procurar outro solvente que possa atender melhor a demanda de extração.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e auxílio financeiro (Proc. 438571/2018-5) e a Universidade Federal do Triângulo Mineiro pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Almeida, J.R.M.; Modig, T.; Petersson, A.; 2007. Increased tolerance and conversion of inhibitors in lignocellulosic hydrolysates by *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82, 340–9.

BRASIL. 2020. Ministério de Minas e Energia; Empresa de pesquisa energética. Balanço energético nacional.

Canilha, L.; Chandel, A. K.; Suzane Dos Santos Milessi, T.; Antunes, F. A. F.; Luiz Da Costa Freitas, W.; Das Graças Almeida Felipe, M.; Da Silva, S. S.; 2012. Bioconversion of sugarcane biomass into ethanol: An overview about composition, pretreatment methods, detoxification of hydrolysates, enzymatic saccharification, and ethanol fermentation. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, p. 15.

Carvalho, F.; Duarte, L. C.; Gírio, F. M.; 2008. Hemicellulose biorefineries: a review on biomass pretreatments. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 67, 849–864.

- Chaturvedi, V.; Verma, P.; 2013. An overview of key pretreatment processes employed for bioconversion of lignocellulosic biomass into biofuels and value added products. *Biotechnology*, 3, 415–31.
- Cheng, H.C. e Wang, F.S.; 2008. Optimal process/solvent design for ethanol extractive fermentation with cell recycling. *Biochemical Engineering Journal*, 41, 258-265.
- Dafoe, J.T. e Daugulis, A.J.; 2014. In situ product removal in fermentation systems: improved process performance and rational extractant selection. *Biotechnology Letters*, 36, 443-460.
- Gírio, F.; Fonseca, C.; Carvalheiro, F.; Duarte, L.; Marques, S.; Bogel-Lukasik, R.; 2010. Bioresource Technology Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology*, 101, 4775–4800.
- Intergovernmental panel on climate change – IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva: Switzerland.
- Jayakody, L.N.; Hayashi, N.; Kitagaki, H.; 2013. Molecular mechanisms for detoxification of major aldehyde inhibitors for production of bioethanol by *Saccharomyces cerevisiae* from hot-compressed watertreated lignocelluloses. In: Mendez-Vilas A, ed. *Material and process for energy: communicating current research and technology development*. Spain: Formatex Research Center, 302–11.
- Jayakody, L.N.; Hayashi, N.; Kitagaki, H.; 2011. Identification of glycolaldehyde as the key inhibitor of bioethanol fermentation by yeast and genome-wide analysis of its toxicity. *Biotechnology Letters*, 33, 285–92.
- Khabarov, Y.G., Kamakina, N.D., Gusakov, L.V. et al.; 2006. A new spectrophotometric method for determination of furfural and pentoses. *Russ J Appl Chem* 79, 103–106.
- Khamis, Nor & Shamsudin, Saleha & Rahman, Nur & Kasim, Khairul.; 2019. Effects of autohydrolysis on rice biomass for reducing sugars production. *Materials Today: Proceedings*. 16. 2078-2087.
- Lemos, D. A. et al.; 2017. Selection and application of nontoxic solvents in extractive ethanol fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 127, 128-135.
- Liu, Z.L.; 2011. Molecular mechanisms of yeast tolerance and in situ detoxification of lignocellulose hydrolysates. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90, 809–25.
- Magalhães, Ticiane da Silva.; 2011. Estudo de pré-tratamentos de bagaço de cana para produção de etanol celulósico por hidrólise enzimática. 63 f.
- Malinowski, J.J.; 2001. Two-phase partitioning bioreactors in fermentation technology. *Biotechnology Advances*, 19, 525–538.
- Martin, C.; Marcet, M.; Almazán, O.; Jönssen, L.J.; 2007. Adaptation of a recombinant xylose-utilizing *Saccharomyces cerevisiae* strain to a sugarcane bagasse hydrolysate with high content of fermentation inhibitors. *Bioresource Technology* 98, 1767-1773.
- Mayer, F. D.; Hoffmann, R.; Ruppenthal, J. E.; 2006. *Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz*. XIII SIMPEP, Bauru-SP.

- Nakanishi, S.C.; Soares, L.B.; Biazi, L.E.; Nascimento, V.M.; Costa, A.C.; Rocha, G.J.M.; Ienczak, J.L.; 2017. Fermentation strategy for second generation ethanol production from sugarcane bagasse hydrolyzate by *Spathaspora passalidarum* and *scheffersomyces stipitis*. *Biotechnol Bioeng*, v. 114, n. 10, p. 2211-2221.
- Nakasu, P.Y.S.; Ienczak, L.J.; Costa, A.C.; Rabelo, S.C.; 2016. Acid post-hydrolysis of xylooligosaccharides from hydrothermal pretreatment for pentose ethanol production. *Fuel*, v. 185, p. 73-84.
- Offeman, R.D.; Franqui-Espiet, D.; Cline, J.L.; Robertson, G.H.; Orts, W.J.; 2010. Extraction of ethanol with higher carboxylic acid solvents and their toxicity to yeast. *Separation and Purification Technology*, 72, 2, 180-185.
- Offeman, R.D.; Stephenson, S.K.; Franqui, D.; Cline, J.L.; Robertson, G.H., Orts, W.J.; 2008. Extraction of ethanol with higher alcohol solvents and their toxicity to yeast. *Separation and Purification Technology*, 63, 444-451.
- Palmqvist, E.; Hahn-Hägerdal, B.; 2000. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates II: Inhibitors and mechanisms of inhibition, *Bioresource Technology*, v. 74, p. 25- 33.
- Portal Ageitec da EMBRAPA.; 2017. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe7457q102wx5eo07qw4xezy8czjj.html#>. Acesso em: 27 jun. 2021.
- Qian, X. H. et al.; 2005. A initio molecular dynamics simulations of beta-d-glucose and beta-dxylose degradation mechanisms in acidic aqueous solution, *Carbohydr. Res.* v. 340, p. 2319- 2327.
- Rabelo, S. C.; 2010. Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas/SP.
- Reyes, J.; Peralta-Zamora, P.; Durán, N.; 1998. Hidrólise enzimática de casca de arroz utilizando-se celulasas. Efeito de tratamentos químicos e fotoquímicos. *Química Nova*, 21, 2, 140-143.
- Santos, S.C.; Sousa, A.S.; Dionísio, S.R.; Tramontina, R.; Ruller, R.; Squina, F.M.; Vaz Rossell, C.E.; Costa, A.C.; Ienczak, J.L.; 2016. Bioethanol production by recycled *scheffersomyces stipitis* in sequential batch fermentations with high cell density using xylose and glucose mixture. *Bioresource technology*, v. 219, p. 319-329.
- Vasconcelos, N. M.; Pinto, G. A. S.; Aragão, F. A. S. 2013. Determinação de açúcares redutores pelo ácido 3, 5-dinitrosalicílico: histórico do desenvolvimento do método e estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 29 p.
- Walter, Melissa; Marchezan, Enio; Avila, Luis Antonio de.; 2008. Arroz: composição e características nutricionais. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192.
- Zautsen, R. R. M.; 2011. Fermentação alcoólica e extração líquido-líquido simultânea de etanol e de inibidores provenientes de caldo hidrolítico de biomassa lignocelulósica. 194 p.

CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE MALTE *IN NATURA* DE UMA MICROCERVEJARIA E SEU USO POTENCIAL COMO ADSORVENTE NA REMOÇÃO DE VERMELHO REATIVO 120 DE SOLUÇÃO AQUOSA

| ID 19375 |

1Bruna Farias de Bortoli^{1,a}, 2Suyanne A. L. Bachmann^{1,b}, 3Thiago Favarini Beltrame^{1,c}

1Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Feliz, e-mail:

^abrunabortoli@outlook.com; ^bsuyanne.bachmann@feliz.ifrs.edu.br; ^ct_thiago@hotmail.com

Palavras-chave: Resíduo de malte, adsorção, biossorvente.

Resumo

O resíduo de malte é principal subproduto do processo cervejeiro e representa cerca de 85% dos subprodutos gerados. Possui vasta disponibilidade no ambiente, devido ao alto desenvolvimento do mercado cervejeiro nos últimos anos, no qual o Brasil está inserido como o terceiro maior produtor. Devido a sua abundância, há também um aumento na preocupação ambiental em relação a sua disposição final, tornando necessário o desenvolvimento de alternativas que gerem produtos de maior valor agregado. Tendo em vista o crescimento pela procura de adsorventes alternativos, em especial aos resíduos agroindustriais, este estudo teve por objetivo caracterizar o resíduo de malte a fim de avaliar seu potencial uso nesta aplicação, como adsorvente *in natura*, de forma agregar valor ao resíduo bem como para contribuir para o aspecto ambiental. Desta forma, o resíduo preparado, caracterização e após avaliado seu uso potencial como biossorvente de um corante têxtil, no caso, o vermelho reativo 120. O resíduo de malte foi utilizado *in natura*, atribuindo-se a sigla (RMIN). As análises de caracterização consistiram em teste de estabilidade de pH, ponto de carga zero (pH_{PCZ}), análise termogravimétrica (TGA), espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e testes de adsorção. Os resultados demonstraram que o malte possui pH relativamente estável quando, em suspensão aquosa. O valor do pH_{PCZ} encontrado foi próximo da neutralidade, demonstrando potencial para remoção de substâncias ácidas. O termograma apresentou perdas de massa em faixas de temperaturas características da presença de compostos lignocelulósicos que compõe o malte, os quais também foram evidenciados pelos resultados análise de FTIR. Os espectros de FTIR revelaram a presença de grupos funcionais, como: grupo hidroxila, grupo carbonila, alcanos e alcenos, relacionados a presença de celulose, hemicelulose e lignina. Esses grupos são capazes de

interagir com os grupos da molécula do corante vermelho reativo 120, auxiliando na sua remoção de solução aquosa, a qual com a análise de MEV pode-se ver alteração morfológica após o processo de adsorção. Sendo assim, o resíduo de malte *in natura* possui potencial para uso como adsorvente na remoção do vermelho reativo 120 de soluções aquosas, contribuindo com até 30% de remoção.

Introdução

A indústria cervejeira mundial tem apresentado um crescimento exponencial nos últimos 10 anos, , produzindo cerca de 191,10 milhões de quilolitros de cerveja em 2018 (KIRIN HOLDINGS, 2019). Com o aumento na produção de cerveja, proporcionalmente, também há uma alta na produção dos resíduos, entre eles o malte, que constitui 85% do total de subprodutos gerados no processo. Tendo em vista que o Brasil é o 3º maior produtor mundial, torna-o com elevada disponibilidade do resíduo de malte para exploração tecnológica. O processo de produção de cerveja basicamente é constituído pelas etapas de moagem, mostura, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e filtração. Após a etapa de filtração a cerveja é envasada e pasteurizada, estando pronta para consumo. O resíduo de malte possui origem na etapa de filtração do mosto, onde o mosto, parte líquida, segue para as etapas subsequentes do processo, sendo que a parte sólida (grãos de malte usados) fica retida, com o auxílio de peneiras que utilizam as próprias cascas do malte presentes no mosto como elementos filtrantes (LOPES et al., 2015; MELLO; VERGÍLIO; MALI, 2013; MILDEMBERG, 2019).

A composição química do resíduo de malte pode variar conforme o tipo de cevada utilizada, condições de malteação e mosturação a que este resíduo for submetido no processo de fabricação da cerveja e, ainda, pode ser alterada pelo tempo de colheita (MELLO; VERGÍLIO; MALI, 2013). Ele usualmente, não é reinserido no processo tornando-o uma fonte potencialmente viável para exploração de novos recursos, como sua destinação para produção de ração animal, devido seu alto valor nutricional e seu baixo custo de aquisição, e na produção de pães artesanais (LOPES et al., 2015). Porém, diversos estudos têm proposto outras alternativas para converter esse resíduo de forma a agregar valor, como por exemplo, na produção de biogás (PANJIČKO et al., 2017), desintoxicação de resíduos líquidos (MAITI et al., 2017), na obtenção de biocombustíveis em biorrefinarias (OUTEIRIÑO et al., 2019), em bandejas de espuma biodegradável (MELLO; MALI, 2014) e seu uso como adsorvente em corantes (FONTANA; CECHINEL, 2016; FRANCISKI et al., 2018; MILDEMBERG, 2019; SAFARIK; HORSKA; SAFARIKOVA, 2011).

O uso do resíduo de malte tem-se mostrado um aliado à minimização das substâncias contaminantes encontradas em efluentes, como os corantes têxteis. As indústrias, em geral,

produzem efluentes que retornam aos corpos hídricos, porém há substâncias contaminantes, que muitas vezes, encontram-se em baixas concentrações e causam danos ao meio ambiente, ecossistema, saúde e qualidade de vida dos seres vivos. Essa problemática gera a necessidade de encontrar alternativas para suas remoções, possibilitando a minimização das emissões (LIMA et al., 2017; MILDEMBERG, 2019). Nesse sentido, a adsorção, surge como uma alternativa interessante, por se tratar de uma técnica de tratamento de fácil operação, proporcionando menor geração de resíduos e baixo custo para implantação. A adsorção é uma técnica de separação que possibilita a utilização de adsorventes de origem natural, a partir de biomassa (biossorvente), como o resíduo de malte, resíduo biodegradável, renovável, disponível em abundância e com baixo custo de aquisição (MILDEMBERG, 2019; PIETROBELLI, 2007). Além disso, faz-se necessário que os adsorventes apresentem relação custo/eficiência baixo, visando a inserção de adsorventes alternativos que sejam economicamente viáveis (DÁVILA, 2016; MILDEMBERG, 2019). Diante do exposto, o presente estudo visa apresentar a caracterização do resíduo de malte, a fim de avaliar seu uso potencial como um biossorvente, para a remoção de um corante têxtil, o vermelho reativo 120, de solução aquosa pela técnica de adsorção.

Material e Métodos

A seguir são apresentados os materiais e métodos utilizados para execução do presente estudo, especificando as metodologias desenvolvidas.

Obtenção e preparo do adsorvente

O resíduo de malte foi fornecido pela Microcervejaria Takaha Cervejas Especiais, localizada na cidade de Feliz, RS, Brasil. Logo após a coleta, foi seco em uma estufa a vácuo com circulação de nitrogênio (*Marconi ma-030*), a 105 °C, por 48 horas. Após o processo de secagem, o resíduo de malte foi triturado em um liquidificador doméstico, Walita HL 3253 com potência de 60 Hz. A classificação granulométrica foi realizada em peneiras da série Tyler (*TPL-Tudo Para Laboratórios*). Foram selecionadas as partículas com dimensões na faixa de 150 µm a 600 µm (equivalente as aberturas de malha de 20 e 100 mesh, respectivamente), de acordo com o estudo de Mildemberg (2019). A este material foi dado o nome de resíduo de malte *in natura* (RMIN).

Caracterização do resíduo de malte

O teste de estabilidade de pH consistiu no monitoramento de pH do resíduo de malte em suspensão aquosa com o tempo. Para isso, foram adicionados 5,00 g do resíduo de malte *in natura* em um béquer com 500 mL de água destilada sob agitação constante em agitador magnético, Even 78HW-1, por 8 h e 30 min. O pH foi verificado em medidor de pH mPA 210- Lab 1000 em intervalos de 30 min.

Para determinação do potencial de carga zero (pH_{PCZ}), foi pesado 0,10 g do RMIN e em seguida, colocado em 100 mL de água destilada (H_2O). Os valores de pH foram ajustados com auxílio de soluções de HCl ou NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, para que os seguintes valores de pH fossem obtidos: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12. Em seguida, as amostras permaneceram por 24 h em incubadora *Shaker* modelo LUCA-222, sob agitação de 100 rpm, em temperatura ambiente de aproximadamente $27 \text{ }^\circ\text{C}$ (ROBLES E REGALBUTO, 2004). Ao final do experimento o pH de cada uma das amostras foi medido novamente. O ponto de carga zero (pH_{PCZ}) foi obtido através da média dos valores do ponto de inflexão da curva obtida pela plotagem do pH inicial pelo final.

A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada para entendimento do comportamento térmico do resíduo de malte *in natura*, em um TGA Q500, TA *instruments*, sob atmosfera de nitrogênio (N_2) e uma rampa de aquecimento de $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ até $800 \text{ }^\circ\text{C}$.

Os grupos funcionais orgânicos presentes no resíduo *in natura* e após o ensaio de adsorção foram identificados por meio de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, *Fourier transform infrared spectroscopy*, (FTIR). A análise de FTIR foi realizada em equipamento Nicolet 360 Avatar-Thermo Fisher Scientific, conduzida no modo de transmissão, entre 400 e 4000 cm^{-1} .

Microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para determinar a estrutura morfológica do resíduo de malte antes e após processo de adsorção. A análise foi realizada em um MEV de bancada - TM3030Plus - Hitachi, com detector de elétrons secundários, tensão de aceleração em 15 Kv, com aumento de 800 e 2000 vezes.

Ensaio de adsorção

Os testes de adsorção foram realizados utilizando como adsorvato o corante têxtil Vermelho Reativo 120 (Sigma-Aldrich). Foi preparada uma solução estoque com concentração de 1.000 mg L^{-1} . As soluções para construção da curva de calibração e para os ensaios de adsorção foram diluídas a partir da solução estoque. Para a obtenção do comprimento de onda no qual o corante absorve maior

quantidade de luz, realizou-se análise de varredura da solução, em concentração de 20 mg L⁻¹. A varredura foi realizada em espectrofotômetro ultravioleta visível (UV-Vis) - CRG series-Hitachi, com comprimento de onda na faixa 400 a 900 nm. Para a curva de calibração foram preparadas soluções de corante com concentrações de 12,5; 25; 50; 75; 100 mg L⁻¹.

Os testes de adsorção foram realizados com uma solução em concentração de 20 mg L⁻¹ e acrescentado 1,00 g do RMIN em mesmo frasco, de acordo com Portinho (2016). As amostras foram submetidas a agitação mecânica em agitador de bancada, Ethik Technology, 100 rpm, com tempo fixo de 1 hora. Após realizou-se filtração simples para ler-se a alíquota em UV-Vis, com comprimento de onda máximo de 535 nm, conforme varredura realizada na amostra. Antes e após a adsorção foi verificado o pH da solução e sua condutividade elétrica correspondente, em aparelho DM 31-Digimed. A determinação da eficiência de remoção foi realizada por meio da equação (1):

$$R, \% = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde: *R* é o percentual de remoção, *C_i* e *C_f* são as concentrações inicial e final da solução aquosa de vermelho reativo 120, em mg L⁻¹.

Resultados e Discussão

Segundo Mussatto, Dragone e Roberto (2006), o resíduo de malte é um material fibroso, apresentando em sua composição um teor de umidade que varia de 77-81%, em virtude da etapa do processamento que o origina. Pode-se evidenciar através da Figura 1A que o resíduo de malte após retirado do processo, apresenta uma aparência pastosa. Já a Figura 1B representa o resíduo de malte após ser submetido a secagem, onde suas partículas ficaram mais soltas entre si, ocasionando na mudança de tamanho e forma do seu grão, devido a redução do teor de umidade em seu interior.

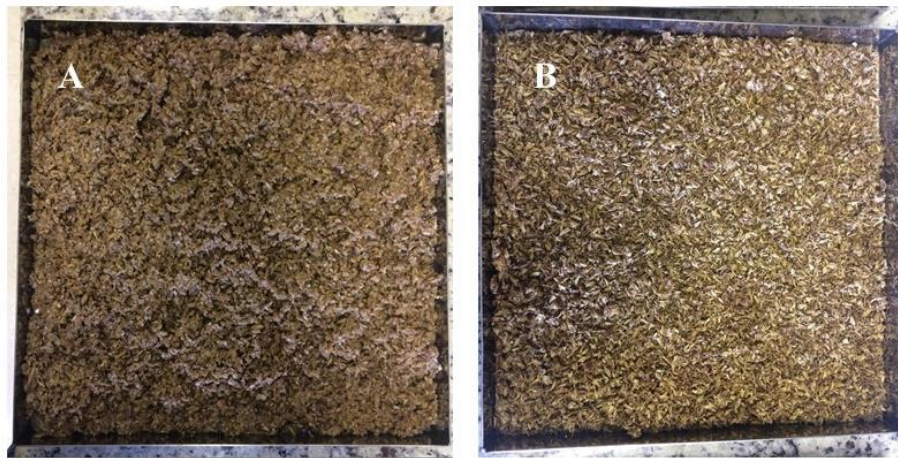


Figura 1 - A) resíduo de malte antes da secagem e B) resíduo de malte após a secagem.

Após a secagem, realizou-se o teste de estabilidade do pH, a fim de verificar se o resíduo de malte provocaria alguma alteração no pH da água. A Figura 2A mostra os resultados dos ensaios de estabilidade de pH.

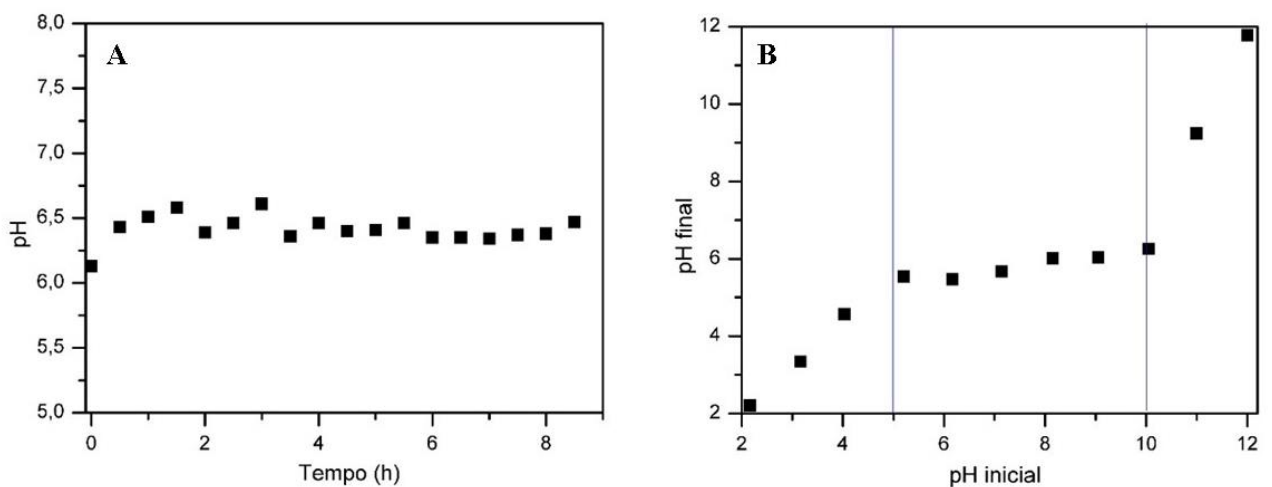


Figura 2 - A) Gráfico de medições de pH durante o período de 8 horas. B) Gráfico do comportamento do pH final em função do pH inicial da fase aquosa em análise de pH_{PCZ} .

A partir do teste de estabilidade, foi possível evidenciar que o pH não apresentou oscilação brusca durante o período de análise. Constatando-se que a solução aquosa em contato com o resíduo de malte *in natura* manteve pH estável e próximo da neutralidade, com valor médio de $6,41 \pm 0,10$. O potencial do resíduo de malte para o processo de adsorção em espécies catiônicas e aniônicas, foi determinado através do seu pH_{PCZ} e calculado através dos pontos de inflexão da curva, que foi obtida a partir dos valores de pH inicial e final da solução, gerando o gráfico de pH inicial versus pH final (Figura 2B).

Observando o comportamento do pH final em função do pH inicial da fase aquosa, entre os valores de pH inicial 5,00 e 10,00 (Figura 2B), a carga superficial líquida é próxima da neutralidade. O valor médio do pH_{PZC} obtido para o resíduo de malte foi de 6,00. Esse valor está de acordo com o encontrado por Mazetto et al (2017), em que obteve-se o resultado no valor de 6,65. A diferença de resultados entre os valores obtidos e a literatura, pode estar relacionado com o erro do equipamento e com o lote do resíduo de malte, o qual variará como, por exemplo, o tipo de malte, época de colheita e condições de malteação (MUSSATTO; DRAGONE; ROBERTO, 2006). É importante destacar que em valores abaixo do pH_{PCZ} obtido, a superfície do adsorvente encontra-se carregada positivamente, proporcionando uma tendência para a adsorção maior de ânions, a fim de balancear as cargas positivas. Sendo assim, há maior facilidade da adsorção de espécies aniônicas, como é o caso do Vermelho Reativo 120. Logo, quando o pH da solução for acima do valor de pH_{PZC} , a tendência será dos cátions serem adsorvidos com maior facilidade, facilitando a remoção de espécies catiônicas (DEOLIN et al., 2013; MAZETTO et al., 2017; OLIVEIRA, 2016).

O resíduo de malte apresentou no termograma (Figura 3A), três regiões de perda de massa, as quais estão relacionadas as substâncias que constituem o resíduo de malte.

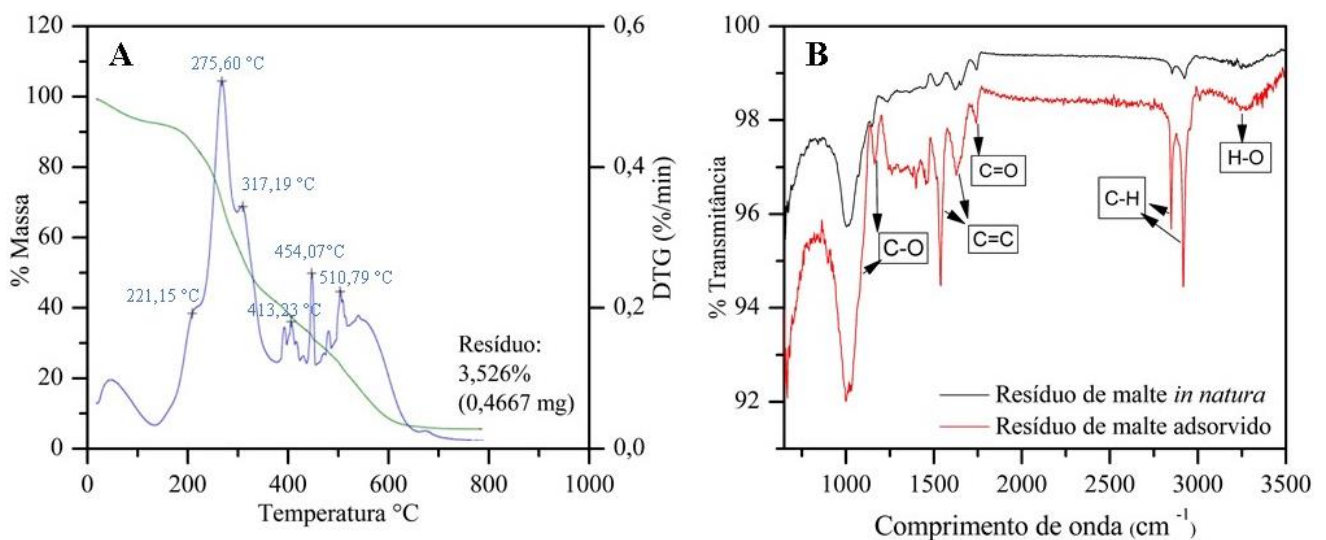


Figura 3 – A) Termograma do RMIN. B) Espectro de resíduo de malte *in natura* (RMIN) e após adsorção (RMAD).

A primeira região está relacionada a remoção da umidade fixa presente na amostra, representada em até aproximadamente 200°C, com uma perda de massa de aproximadamente 15%. A partir da temperatura de aquecimento de 220 °C até 400 °C, apresenta-se a segunda região, demonstrando a degradação dos da celulose e hemicelulose, com os picos em 275,6 °C e 317,19 °C,

representados por uma perda de massa de 43,19%, resultado semelhante ao encontrado por Mildemberg, (2019) com 55% de perda para o resíduo de malte. A terceira região, compreendida entre as temperaturas de 400 °C e 650 °C é a degradação da lignina, a qual ocorre em temperaturas elevadas, com uma perda de massa de 28,83%. Com o aumento da temperatura, a perda de massa estabiliza, tornando completa a volatilização do material lignocelulósico presente no resíduo de malte, apresentando um teor residual de cinzas de 3,526%.

A fim de identificar os grupos funcionais da superfície do resíduo de malte foi realizada a análise de FTIR (ver Figura 3B), eles constituem os sítios ativos presentes no adsorvente, sendo responsáveis pela carga superficial devido à sua dissociação, além de serem responsáveis pela captura das espécies encontradas em meio aquoso a serem adsorvidas, podendo sofrer variação com o pH, destinando o mecanismo para adsorção catiônica ou aniônica (OLIVEIRA, 2016).

Os espectros mostram uma banda leve de absorção com interferência na região entre 3000 e 3500 cm^{-1} , com pico em 3246,44 cm^{-1} para RMIN e de 3247,69 cm^{-1} para o resíduo de malte adsorvido (RMAD). Este comprimento de onda representa as vibrações do estiramento da ligação -OH, grupo hidroxila, observado mesmo com interferência, grupo que é visto em bandas entre 3200 e 3650 cm^{-1} (PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2009). Nesta região do espectro, o grupo hidroxila pode ser atribuído a celulose, grupos lignina ou hemicelulose presentes no resíduo de malte (FERRAZ et al., 2015; FONTANA et al., 2016). Segundo os estudos de Stjepanović et al. (2019), esses picos podem ser atribuídos a vibrações de alongamento -OH devido à ligação de hidrogênio inter e intramolecular das fibras poliméricas como celulose e lignina.

As bandas entre 2750 e 3000 cm^{-1} apresentam picos para amostra RMIN de 2925,59 cm^{-1} e 2854,95 cm^{-1} para RMAD. Essa região corresponde aos alcanos, vibrações do estiramento C-H em cadeias alifáticas, grupo funcional identificado entre comprimentos de onda de 3000 e 2850 cm^{-1} (PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2009). Segundo os estudos de Ferraz et al. (2015), Fontana et al. (2016) e Stjepanović et al., (2019), os picos entre 2960 cm^{-1} e 2850 cm^{-1} demonstram a presença de (CH_2 e CH_3), carbono primário e carbono secundário, picos que podem pertencer à celulose, lignina ou hemicelulose.

Também foi possível observar três picos com grupo funcionais semelhantes, C=O, entre as bandas 1500 e 2000 cm^{-1} . O pico em 1739,33 cm^{-1} para RMIN e 1739,56 cm^{-1} para RMAD, região característica de um aldeído, identifica a vibração do estiramento do grupo carbonila, o qual é identificado entre os picos 1740 e 1720 cm^{-1} (PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2009). Santos et al. (2015) identificaram pico semelhante e atribuíram aos grupos éster acetil e urônico (ácido de açúcar produzido durante o processo cervejeiro), como pertencentes a hemicelulose ou à ligação de éster do grupo carboxílico presente na ligninae/ou na hemicelulose.

O pico de $1621,02\text{ cm}^{-1}$ para RMIN e $1627,63\text{ cm}^{-1}$ para RMAD são referentes à alceno C=C, identificado entre as bandas de 1600 a 1680 cm^{-1} (PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2009), pico semelhante ao encontrado no estudo de Stjepanović et al., (2019), o qual aborda que ele está associado a grupos cíclicos aromáticos. E a banda de 1537 cm^{-1} para RMIN e $1539,02\text{ cm}^{-1}$ para RMAD é um alceno identificado como aromático entre 1475 cm^{-1} e 1600 cm^{-1} (PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2009), atribuídos aos anéis aromáticos encontrados em lignina (FERRAZ et al., 2015; FONTANA et al., 2016).

Os picos observados em $1150,61\text{ cm}^{-1}$ para RMIN e $1166,01\text{ cm}^{-1}$ RMAD podem ser atribuídos ao estiramento da ligação C-O de grupos carboxílicos, álcoois, éter, éster e anidros (PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2009). Fontana et al. (2016) encontraram picos semelhantes em seu estudo, caracterizando esta banda com a possibilidade de ser um grupo carboxílico, éter alifático ou álcool terciário, os quais são evidenciados entre as regiões de 1070 cm^{-1} e 1150 cm^{-1} .

Sendo assim, com a análise de FTIR identificou-se os principais grupos funcionais presentes na superfície do biossorvente, os quais estão relacionados principalmente à presença de celulose, hemicelulose e lignina, como visto nos trabalhos de Ferraz et al. (2015) e Fontana et al. (2016). Também, foi possível observar que as bandas do RMAD, possuem maior intensidade de pico quando comparadas ao RMIN, efeito que pode estar ligado diretamente à adsorção do corante na superfície do resíduo de malte (FONTANA et al., 2016).

A fim de avaliar a morfologia do resíduo de malte antes e após o ensaio de adsorção, foi realizada a análise de MEV, Figura 4, a qual constatou-se que RMAD apresenta agregados maiores e mais inchados quando comparado ao RMIN, provavelmente, devido a adsorção do corante vermelho reativo 120 sobre a superfície do adsorvente.

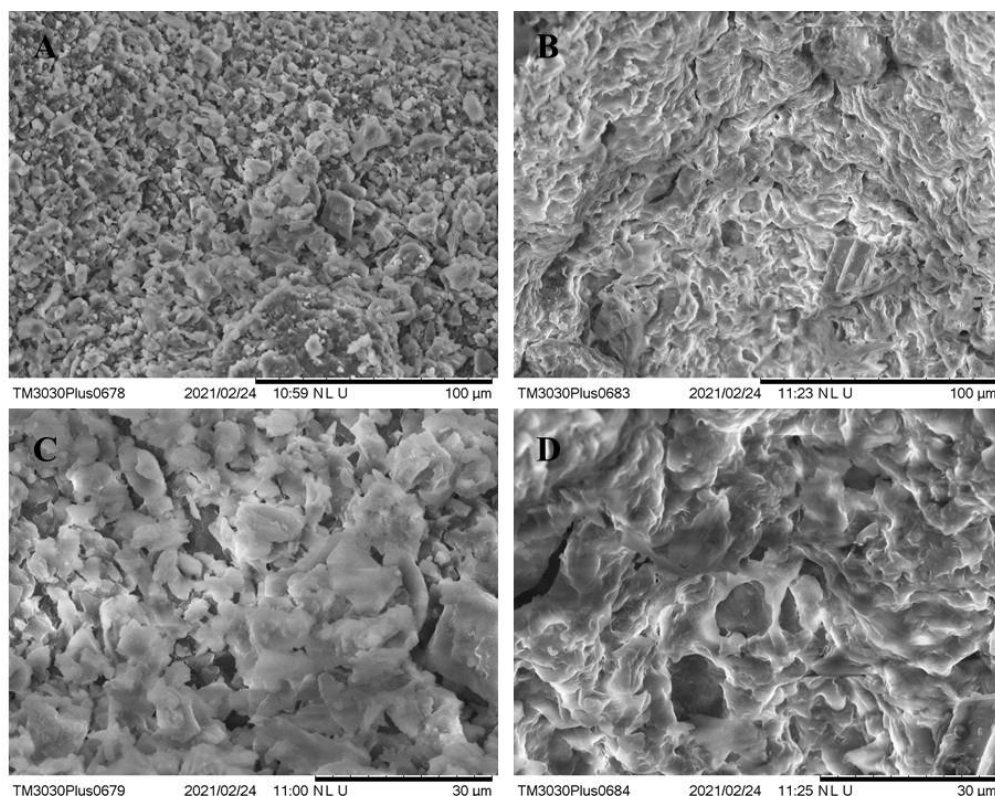


Figura 4- A) RMIN e B) RMAD são imagens com aumento de 800x com feixe de elétrons secundários e C) RMIN e D) RMAD, são imagens com aumento de 2000x com feixe de elétrons secundários.

Para os ensaios de adsorção, a curva de varredura realizada na solução do corante vermelho reativo 120, determinou o seu comprimento de onda de absorção máxima ($\lambda_{máx}$) (Figura 5A), como sendo a maior absorção da radiação UV/Vis em 535 nm (indicado pela seta), o mesmo valor foi encontrado na literatura por Dávila (2016) e fornecido pelo fabricante do reagente Sigma-Aldrich (2019).

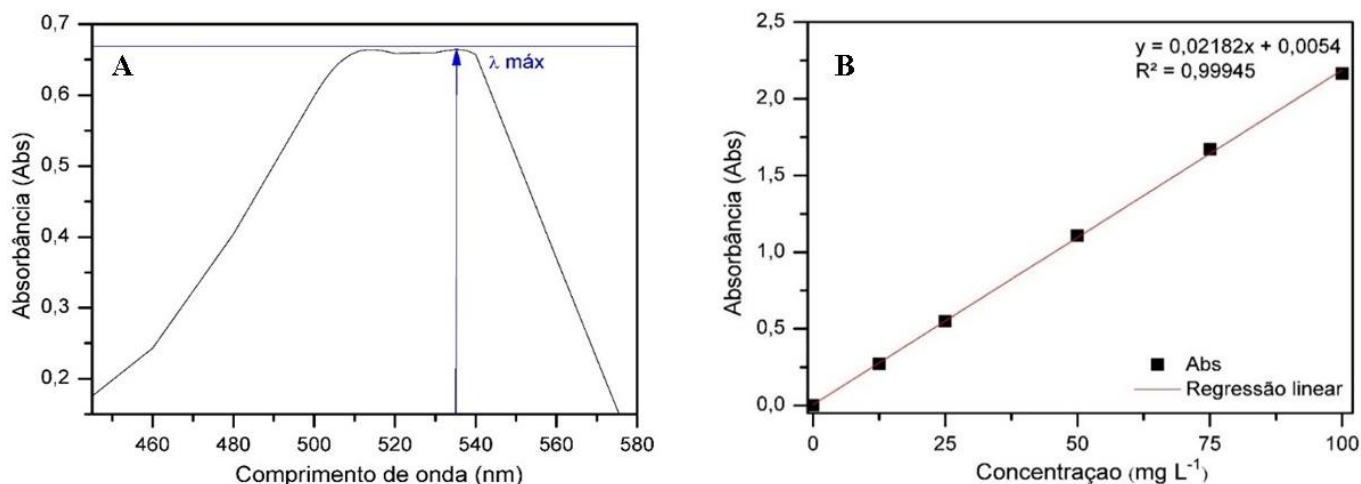


Figura 5 – A) Gráfico de varredura da solução de corante vermelho reativo 120. B) Gráfico da curva de calibração da solução de corante vermelho reativo 120.

Após, construiu-se a curva calibração com o $\lambda_{m\acute{a}x}$ obtido para o corante (535 nm). Com os dados da análise, construiu-se um gráfico de concentração do adsorvato *versus* absorbância, formando a curva de calibração do corante (Figura 5B). A representação gráfica, a equação da reta e o coeficiente de correlação, foram utilizados para determinação das concentrações iniciais e finais do das soluções utilizadas no processo de adsorção, e a partir desses valores, pôde-se calcular o percentual de remoção do corante. Os resultados estão apresentados na Tabela 1 e identificados por experimento.

Tabela 1 – Experimentos de remoção da solução de vermelho reativo 120, 20 mg L⁻¹, em 1,00 g de RMIN, por 1h a agitação 100 rpm.

Experimento	Concentração inicial (mg L ⁻¹)	pH		Condutividade (μS cm ⁻¹)		% de remoção
		inicial	final	Inicial	final	
1	22,64	6,85	6,08	25,7	123,9	29,90
2	21,92	6,51	5,89	24,7	147,2	30,34

Nos valores iniciais e finais de pH houve pouca variação e esse comportamento, anteriormente foi evidenciado pelo teste de estabilidade, onde o pH do malte se mostrou estável durante oito horas, com mínimo de oscilação. O malte é um material lignocelulósico em que o pH da solução pode influenciar no equilíbrio e dissociação de seus grupos funcionais. O valor 6,00 obtido para o pH_{PCZ} pode estar relacionado à baixa eficiência de remoção (~30%), uma vez que o pH médio da solução aquosa é 6,57, levemente acima do pH_{PCZ}, considerado pH neutro. O adsorvente apresenta cargas predominantemente negativas em sua superfície quando o pH da solução está acima do seu pH_{PCZ},

exibindo comportamento de atrair cátions, e repelir corantes de origem aniônica, devido as cargas negativas que entram em contato com a água e repelem íons (VASQUES et al., 2011). O valor do pH_{PCZ} (6,00) indica que o adsorvente pode ser capaz de remover íons em solução de pH de caráter ácido ou corantes catiônicos, pois com solução de pH abaixo do pH_{PCZ} , os grupos funcionais não estarão dissociados e provavelmente protonados, ou seja, estarão em condições ácidas e o material apresentará um comportamento de atrair ânions (OLIVEIRA, 2016).

Com base nos dados de pH_{PCZ} , o pH do meio não favoreceria a adsorção de vermelho reativo 120 em resíduo de malte, porém obteve-se remoção de 30,12% com desvio padrão de 0,31 para o corante vermelho reativo 120, a qual pode ser associada a interações físicas e/ou químicas, entre a superfície do adsorvente e a molécula do adsorvato. Na análise de FTIR do adsorvente, há os grupos hidroxilas em sua superfície que podem interagir por meio de ligações de hidrogênio com a molécula do corante, a qual possui nitrogênio em anéis aromáticos, forças intermoleculares que manterão o corante na superfície do adsorvente (SOTELO et al., 2012).

A condutividade elétrica da solução foi um fator que aumentou após o teste de adsorção, inicialmente a solução apresentou uma média de condutividade elétrica de $25,2 \mu S \text{ cm}^{-1}$ e após o processo de adsorção $135,5 \mu S \text{ cm}^{-1}$. Isto mostra que na solução há aumento da concentração de íons e isso pode estar relacionado a presença de íons de Cloro (Cl^-), Sódio (Na^+) íons oxigenados de enxofre (SO_3^{2-} ou SO_4^{2-}) provenientes de grupos sulfônico ($-\text{SO}_3\text{H}$) presentes na molécula do corante vermelho reativo 120 (ATKINS; DE PAULA, 2014).

A Tabela 2 mostra uma compilação da eficiência de remoção de diferentes estudos que utilizaram resíduo de malte como adsorvente.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 2, as eficiências de remoção são bastante variáveis, podendo ser alteradas conforme o adsorvato, condições operacionais estabelecidas, como a quantidade de adsorvente e pH do meio. A remoção encontrada no presente estudo, de 30,12% foi satisfatória, pois nas condições operacionais utilizadas não houve emprego de tratamentos físicos nem químicos adicionais no adsorvente. É importante ressaltar que o resíduo de malte foi seco após seu recebimento da cervejaria e não houve ajuste de pH da fase fluida, conforme pode ser visto nas condições operacionais na tabela 4 realizadas por (FONTANA et al., 2016), sem lavagem prévia e, ainda assim, foi possível observar uma eficiência de remoção superior aos estudos de Franciski et al. (2018) e Safarik, Horská e Safariková (2011).

Tabela 2 – Estudos com resíduo de malte como adsorvente para corantes têxteis.

Adsorvato	Adsorvente	Condições operacionais	% Remoção	Referência
Vermelho reativo 120	Resíduo de malte <i>in natura</i>	Agitação=100 rpm; Adsorvente =10 g L ⁻¹ ; C _i = 20 mg L ⁻¹ ; t = 1 h.	30,12 ± 0,31	Presente estudo
Azul de anilina			71	
Laranja acridina	Resíduo de malte	Adsorvente= 0,3 g L ⁻¹ ; C _i	26	Safarik; Horska;
Verde metílico	modificado com	= 70 mg L ⁻¹ ; t = 4 h.	1	Safarikova
Vermelho congo	ferro		2	(2011)
Violeta Cristal			75	
Laranja solimax	Resíduo de malte <i>in natura</i>	Agitação=150 rpm; pH = 1,5; C _i = 50 mg L ⁻¹ ; t = 2 h.	97,7	Fontana et al. (2016)
Azul de metileno	Carvãoativado de resíduo de malte	Adsorvente= 2 g L ⁻¹ ; C _i = 100 mg L ⁻¹ ; t = 1 h.	99	Mildenberg, (2019)
	Resíduo de malte <i>in natura</i>		10	
Azul de metileno	Resíduo de malte pirolisado	Agitação=150 rpm; Adsorvente =1,0 g L ⁻¹ ; pH = 6,5; C _i = 50 mg L ⁻¹ ;	40	Franciski et al. (2018)
	Resíduo de malte após ativação por pirolise e CO ₂	t = 2 h.	70	

Comentários finais

A caracterização do resíduo de malte *in natura* mostrou estabilidade de pH, ficando próximo da neutralidade. Adicionalmente, o valor do pH_{pcz} obtido, no caso 6,0, também é próximo da neutralidade, o que pode implicar na capacidade do resíduo de malte de adsorver tanto de espécies catiônicas quanto aniônicas. Com a análise de FTIR observou-se que após a adsorção, não há mudanças nos grupos funcionais do resíduo de malte, além disso, com esta análise evidenciou-se os grupos funcionais presentes na superfície do resíduo, sendo eles: o grupo hidroxila, grupo carbonila, alcanos demonstrando a presença de carbono primário e carbono secundário, os quais atribuem-se

a celulose, grupos lignina e a hemicelulose presentes no resíduo de malte. A alceno associado aos grupos cíclicos aromáticos, os quais são atribuídos aos anéis aromáticos encontrados em lignina. Demonstrando resultados que corroboram com a análise de TGA, com as perdas de massa correspondentes a esses compostos.

As imagens morfológicas da superfície do adsorvente possibilitaram a caracterização superficial, indicando uma estrutura mais inchada após a adsorção do corante, possivelmente decorrente do fenômeno da adsorção. O RMIN através do presente estudo, mostrou uso potencial para a remoção de corante vermelho reativo 120 em solução aquosa, apresentando uma eficácia de remoção de $30,12\% \pm 0,31$. Sendo assim o resíduo de malte *in natura* possui potencial de contribuir para redução da concentração de vermelho reativo 120 através do processo de adsorção.

Vale ressaltar que o teor de remoção foi alcançado com um resíduo de baixo custo, sem tratamento prévio e sem ajuste de pH da solução aquosa, o qual devido ao pH_{PCZ} encontrado para o malte, poderia favorecer a remoção em pH ácido. Por fim, a partir dos resultados obtidos no presente estudo e dos desafios encontrados, pode-se afirmar que o RMIN apresenta potencial no tratamento de efluentes contendo vermelho reativo 120, quando não submetido a mudanças nas suas condições.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia- Campus Feliz, a Microcervejaria Takaha Cervejas Especiais e a empresa Videolar- Innova, pelo apoio e suporte recebido para a realização deste estudo durante a pandemia Covid-19.

Referências Bibliográficas

Atkins, P. W.; De Paula, J. 2014. Físico-química: fundamento. Rio de Janeiro, RJ: LTC.

Dávila, I. V. J. 2016. Remoção de vermelho reativo 120 em solução aquosa usando hidroxicarbonatos de Mg-Al, Mg-Fe e Mg como sólidos sorventes. 2016. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre.

Deolin, M. H. da S. et al. 2013. Obtenção do ponto de carga zero de materiais adsorventes. In: VIII Encontro internacional de produção científica, Maringá.

Fontana, K. B. et al. 2016. Textile dye removal from aqueous solutions by malt bagasse: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 124, p. 329–336.

Franciski, M. A. et al. 2018. Development of CO₂ activated biochar from solid wastes of a beer industry and its application for methylene blue adsorption. *Waste Management*, v. 78, p. 630–638.

Kirin Holdings. 2019. Kirin Beer University Report Global Beer Production by Country in 2018. Disponível em: <https://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2019/1003_01.html>. Acesso em: 18 mar. 2021.

- Lima, D. R. S. et al. 2017. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 6, p. 1043–1054.
- Lopes, C. R. et al. 2015. Estudo cinético de desidratação e caracterização do bagaço de malte resíduo da indústria. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química Em Iniciação Científica, 11^a Edição, Campinas.
- Maiti, S. et al. 2017. Two-phase partitioning detoxification to improve biobutanol production from brewery industry wastes. *Chemical Engineering Journal*, v. 330, p. 1100–1108.
- Mazetto, I. A. et al. 2017. Caracterização de biomassas de uva-do-japão e bagaço de malte como adsorventes através da análise do ponto de carga zero. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Química Em Iniciação Científica, 12^a Edição, São Carlos.
- Mello, L. R. P. F.; Mali, S. 2014. Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*, v. 55, p. 187–193.
- Mello, L. R. P. F.; Vergílio, R. M.; Mali, S. 2013. Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira. *BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports*, v. 2, n. 3esp, p. 191–194.
- Mildemberg, A. N. 2019. Obtenção de carvão ativado a partir de bagaço de malte e sua aplicação na remoção de azul de metileno. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Mussatto, S. I.; Dragone, G.; Roberto, I. C. 2006. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, v. 43, n. 1, p. 1–14.
- Oliveira, F. M. Resíduos agroindustriais como adsorventes para remoção de azul de metileno em meio aquoso. Universidade Federal De Goiás, Catalão.
- Outeiriño, D. et al. 2019. Biorefining brewery spent grain polysaccharides through biotuning of ionic liquids. *Carbohydrate Polymers*, v. 203, p. 265–274.
- Panjičko, M. et al. 2017. Biogas production from brewery spent grain as a mono-substrate in a two-stage process composed of solid-state anaerobic digestion and granular biomass reactors. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p. 519–529.
- Pietrobelli, J. M. T. A. 2007. Avaliação do potencial de biossorção dos íons Cd (II), Cu (II) e Zn (II) pela macrófita *Egeria densa*. Toledo: Universidade Estadual do Oeste do Parana.
- Robles, J. O.; Regalbuto, J. R. 2004. The Engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation For application on Proton Exchange Fuel Cell Membrane. University of Illinois, Chicago.
- Safarik, I.; Horska, K.; Safarikova, M. 2011. Magnetically modified spent grain for dye removal. *Journal of Cereal Science*, v. 53, n. 1, p. 78–80.
- Sigma-Aldrich. 2020. Ficha de dados de segurança- Vermelho Reativo 120.
- Sotelo, J. L. et al. 2012. Removal of caffeine and diclofenac on activated carbon in fixed bed column. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 90, n. 7, p. 967–974.
- Vasques, A. R. et al. 2011. Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 16, n. 3, p. 245–252.

RECICLAGEM INTERNA DE RESÍDUOS DE BORRACHA SILICONADA, PRÉ-VULCANIZADOS EM INDÚSTRIA DE BORRACHA: AVALIAÇÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL

| ID 19391 |

1Daniel Vieira Reis, 2Joice Pinho Maciel, 3Daiane Calheiro Evaldt, 4Andressa Soares Barrozo, 5Carlos Alberto Mendes Moraes, 6Feliciane Andrade Brehm

1Unisinos, e-mail: daniel.segreis@gmail.com; 2Unisinos, e-mail: joicemaciel14@gmail.com;
3Unisinos, e-mail: dcalheiro@unisinos.br; 4 Unisinos, e-mail: andressa.soaresb@gmail.com;
5Unisinos, e-mail: cmoraes@unisinos.br; 6 Unisinos, felicianeb@unisinos.br

Palavras-chave: Resíduo de Borracha Siliconada; Valorização; Produção mais Limpa.

Resumo

Este artigo apresenta uma análise de valorização de resíduos de borracha siliconada (RBS) provenientes de injetoras de uma empresa do setor de borracha, baseando-se na metodologia de Produção mais Limpa (P+L), nível 2, de reciclagem interna. Para este estudo, foi priorizado a utilização de medidas que buscassem eliminar ou minimizar resíduos sólidos no processo produtivo onde o RBS era gerado. A meta principal foi encontrar medidas que evitassem a geração de resíduos na fonte, e que pudessem incluir modificações tanto no processo de produção quanto no próprio produto. Conforme as análises físicas e estruturais realizadas no RBS: Dureza, Curva Reométrica, Densidade Hidrostática, Resistência à Tração e Teste de Rigidez Dielétrica, foi possível comprovar a viabilidade na fabricação de produtos com a utilização do RBS, uma vez que, o material apresenta características muito próximas do composto original. Percebe-se que é vantajosa para a empresa analisada a utilização do RBS, uma vez que, o material valorizado internamente (reciclagem), pode ser usado no processo de fabricação de artefatos de borracha sem que as peças tenham nenhuma perda das características ou propriedades, reduzindo os impactos ambientais da fabricação deste produto, e podendo ser comercializado por valores mais competitivos no mercado.

Introdução

A borracha é um material amplamente aplicado para usos industriais, tais como na manufatura de pneus, componentes e peças automotivas, produtos para uso médico e paramédico, adesivos, calçados e muitos outros. Devido às suas características, existe uma crescente preocupação com o

descarte dos resíduos deste material, visto que seus polímeros não se decompõem com facilidade e a disposição deste resíduo é um problema ambiental. (SOARES E MOREIRA, 2003).

No Brasil, o setor da borracha representa aproximadamente 1% da indústria de transformação, contando com um número superior a 4.000 estabelecimentos industriais. O parque industrial gaúcho no setor da borracha é o segundo mais importante do país, só sendo superado por São Paulo, que conta com aproximadamente 210 empresas que geram cerca de 10.500 postos de trabalho. A indústria da borracha classifica-se como uma indústria de transformação, uma vez que se utiliza de várias matérias-primas que, submetidas a processos industriais de mistura e vulcanização, transformam-se em artefatos de borracha (SINBORSUL, 2021).

Este polímero é uma emulsão aquosa quando em seu estado natural, e é obtido através da extração do látex de algumas espécies de plantas mediante corte do caule ou maceração de folhas que com a adição de produtos químicos produz a coagulação deste líquido, transformando-o no produto que conhecemos como borracha natural. (FONSECA, 1950). A borracha natural é muito utilizada para fabricação de materiais e equipamentos para o setor elétrico, pois apresenta ótima característica isolante. Na sua condição natural, a borracha não encontrou muita aplicação na indústria, porque suas propriedades no calor se tornam muito flexíveis e no frio muito rígidas, ou seja, necessita aditivos (MORAES; 2012).

Conforme ensaios realizados (VITAL; et al.; 2019), a composição química aproximada da borracha bruta apresenta: Hidrocarbonetos de borracha (93,7%); Proteínas (2,2%); Carboidratos (0,4%); Lipídios naturais (2,4%); Glicolipídios e Fosfolipídios (1,0%); Materiais inorgânicos (0,2%); outros (0,1%). Um estudo aponta que em torno de 70% de toda borracha natural consumida no mundo é destinada à produção de pneus, para os mais diferentes usos, sendo as empresas pneumáticas os grandes conglomerados econômicos que determinam a formulação de preço e compra desta matéria-prima (BRITO et. al. 2011).

As rebarbas e as peças de borracha são os principais responsáveis pelo aumento de resíduos de borracha nos processos produtivos de moldagem por injeção ou compressão das empresas do ramo. Não obstante, uma das problemáticas enfrentadas na gestão desse material é a sobra de processo, que, por falta de alternativas de reaproveitamento e reciclagem, acabam sendo destinadas aos aterros industriais.

Ao longo do tempo várias pesquisas e metodologias foram aplicadas à borracha, que passou a ser vulcanizada com agentes químicos, como enxofre, por exemplo, que modifica a estrutura e proporciona maior estabilidade termomecânica. Após este processo a borracha passa a ser um termofixo e suas novas propriedades conferem muitas vantagens na utilização. Porém, torna-se

muito difícil sua reciclagem, visto que mesmo depois de aquecida ela não volta a ter as mesmas características (MILES et al.; 1975).

As rebarbas e as peças de borracha são os principais responsáveis pelo aumento de resíduos de borracha nos processos produtivos de moldagem por injeção ou compressão das empresas do ramo. Conforme dados de processo do referido estudo, foi identificado que, em torno de 30% do resíduo processado de borracha são destinados aos aterros industriais. É de extrema importância considerar que a borracha vulcanizada se torna termorrígida, e a reutilização das rebarbas ou das peças defeituosas exige operações adicionais de tratamento, a fim de reduzir o seu dimensional (MANO et al.; 1999).

Por sua característica termorrígida, constata-se a problemática da gestão desse resíduo, considerando que não é conhecido o tempo de degradação de um artefato de borracha (PINHEIRO; 2010). No entanto sugere a priorização de ferramentas que possam minimizar a sua geração e viabilizar a sua reciclagem. Sob o ponto de vista de resíduos e levando-se em consideração os níveis e as estratégias de aplicação, a abordagem de produção mais limpa pode se dar de duas formas: através da minimização de resíduos e redução do uso de recursos naturais (redução na fonte), e ou através da reutilização de resíduos (reciclagem interna e externa).

A produção mais limpa, também grafada como produção + limpa ou P+L, é uma ferramenta desenvolvida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que descreve um enfoque preventivo de gestão ambiental, a qual reflete uma mentalidade de produzir com mínimo impacto, dentro dos atuais limites tecnológicos e econômicos. Este conceito tem como principal objetivo mudar o foco de controle para o de prevenção da geração de resíduos e, quando possível, adotar práticas de controle da poluição. (KHALILI. et al.; 2014). Ao mesmo tempo, visa melhorar a lucratividade, eficiência e a competitividade das empresas com melhoria contínua tornando o processo cada vez menos agressivo ao homem e ao meio ambiente (NETO; et al.; 2010).

Aplicar a produção mais limpa em processos produtivos visa a conservação de matérias-primas, água e energia, eliminação de matérias-primas tóxicas e redução na fonte, bem como na quantidade e toxicidade de emissões e dos resíduos gerados, e o melhor aproveitamento de matérias-primas e redução dos seus impactos negativos ao longo de seu ciclo de vida. O uso desta ferramenta pretende integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade. Um estudo realizado por Zeng; et al. (2010) mostrou que a implementação de atividades aplicando P+L com baixo investimento geram benefícios financeiros imediatos. Logo a P+L pode ser vista como geradora de oportunidades, proporcionando minimização dos custos e maior lucratividade para as empresas (SILVINO; et. al.; 2021).

Um dos alvos da P+L é alcançado através do conhecimento de entradas e saídas dos processos identificando etapas críticas de geração de resíduos e custos econômicos. De acordo com SENAI (2003) as ações de P+L visam alterações em variados níveis de atuação. São caracterizadas por níveis de ações, sendo eles: nível 1, de ações prioritárias de redução na fonte; nível 2 voltada para a reciclagem interna e; nível 3, voltada para reciclagem externa.

Considerando que a geração de resíduos de borracha no processo produtivo de uma indústria é contínua, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa para valorização resíduo de borracha siliconada (RBS), pré-vulcanizados, provenientes de injetoras da indústria de borracha, utilizando como argumentação, a ferramenta de produção mais limpa, nível 2, reciclagem interna, que tornou-se essencial para a recuperação desses resíduos, que antes, estavam sendo destinados aos aterros industriais, gerando despesas e passivos ambientais.

Material e Métodos

O estudo ocorreu em uma empresa de artefatos de borracha localizada na região do Vale do Rio dos Sinos, considerada uma empresa brasileira com forte atuação na América Latina, do ramo de borracha e termoplástico. Atualmente esta unidade fabril, no estado Rio Grande do Sul, emprega aproximadamente 350 pessoas, e dispõe de laboratórios para desenvolvimento de projetos, visando desenvolver tecnologias inovadoras para seu segmento.

A reciclagem interna do RBS teve como primeiro passo a coleta do material que foi realizada na fonte de geração, que são as máquinas injetoras. Ela ocorre pelos próprios operadores através de coletores específicos dispostos nas áreas de geração deste material. Após, o material é encaminhado para uma central de resíduos de borracha, onde é armazenado em caixas próprias e identificadas para evitar a sua contaminação e mistura com outros tipos de materiais.

A próxima etapa consistiu em encaminhar o resíduo de RBS para a filtragem em uma extrusora, processo esse que consistiu na passada forçada do material por um orifício, onde foi retirado algum ponto de material vulcanizado que foi coletado juntamente com o RBS. Após concluído o processo de reciclagem, o RBS filtrado é colocado em um cilindro para ser homogeneizado e posteriormente embalado para o uso.

Então é realizada a diluição do RBS junto ao composto original na proporção de 3x1, ou seja, a cada 30 Kg de CO utiliza-se 10 Kg de RBS, sendo o composto final utilizado para produção de peças de reposição.

Amostragem

A separação do RBS para posterior caracterização foi coletada em dois dias escolhidos de forma aleatória, pois o resíduo é gerado diariamente na empresa. O resíduo foi coletado direto da fonte de geração, onde foram colocados em sacos plásticos e encaminhados para o Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento (LPD) da própria empresa, para realização dos ensaios, conforme a Figura 1. Fluxograma metodológico.

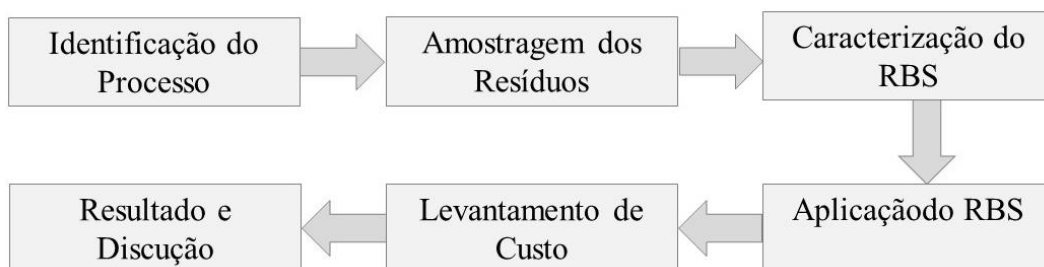


Figura 13. Fluxograma Metodológico. Fonte: Acervo dos autores.

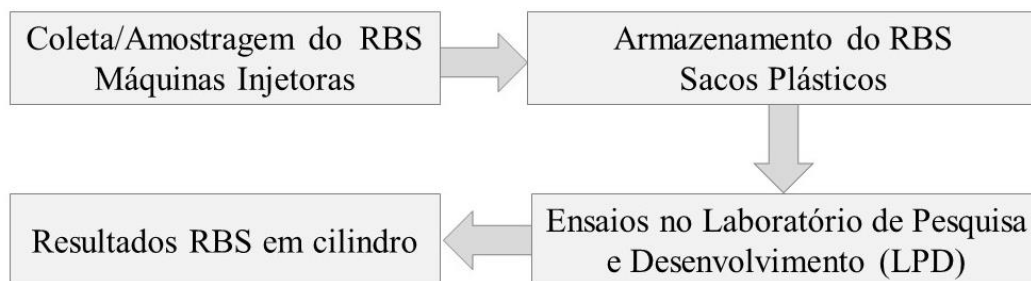


Figura 14. Fluxograma de Reciclagem Interna do RBS. Fonte: Acervo dos autores.

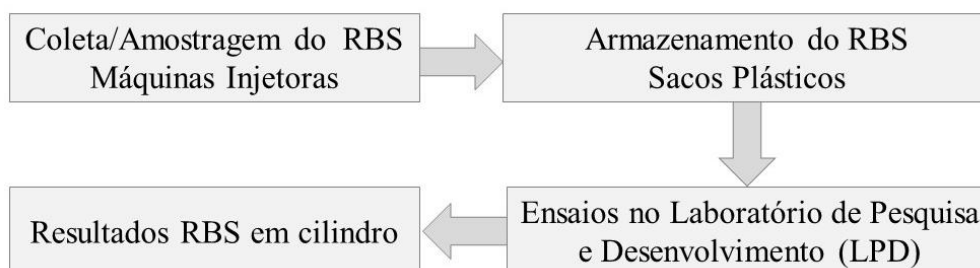


Figura 15. Fluxograma de Amostragem RBS. Fonte: Acervo dos autores.

A geração de RBS no processo estudado depende muito do número de cavidades do molde, pois quanto mais cavidades, maior será a geração de resíduos. Após a amostragem, o material foi encaminhado para o LPD da empresa, onde foi analisado física e estruturalmente.

Caracterização da amostra do Resíduo de Borracha Siliconada

Foram utilizadas diversas técnicas de caracterização física do RBS, as quais pode-se citar: Ensaio de Tração, Densidade Hidrostática, Dureza, Curva reométrica e Resistência dielétrica, os quais foram realizados no LPD da empresa, conforme descrição a seguir.

Dureza

A fim de obter a resistência que o material oferece à penetração de um corpo-de-prova determinado sob uma carga de compressão definida, foi utilizado o Durômetro Shore A da marca Microtest 7206 D, conforme norma ASTM D 2240.

Curva Reométrica (CR)

Este método é usado para determinar as características de vulcanização de compostos de borracha vulcanizáveis (LOVISON, 2003). Uma amostra do composto de borracha não vulcanizado é colocada em uma cavidade, que é fechada e mantida em temperatura elevada. A cavidade é formada por duas matrizes, uma delas oscilante, a qual gera um torque, responsável pela geração da CR estabelecida pela relação torque x tempo. Foi utilizado o equipamento Reômetro, modelo SRCM da marca Tecnologia Industrial, conforme norma ASTM D 5289.

Densidade Hidrostática (DH)

A densidade de um corpo é a razão entre sua massa e seu volume. A densidade é propriedade que pode ser determinada rapidamente e ser empregada para apurar alterações físicas e/ou química dos materiais.

Para determinar a densidade hidrostática dos materiais utilizou-se os seguintes equipamentos, e baseou-se na norma ASTM D 297.

- a) Balança com resolução de 0,1 mg;
- b) Copo de béquer de 250 ml;
- c) Mesinha auxiliar;
- d) Água deionizada álcool etílico.

Resistência à Tração (RT)

O ensaio de tração consiste em submeter um corpo de prova a uma solicitação de tração até a ruptura, registrando-se a carga em uma função de deformação (LOVISON, 2003). Este ensaio fornece a impressão digital de uma composição de borracha. Indica, por exemplo, se os ingredientes de uma composição foram incorporados na borracha na quantidade adequada.

Conforme a norma ASTM D 2000, o ensaio de tração é conduzido com auxílio de um dinamômetro, onde o corpo de prova é preso em “garras” e esticado até sua ruptura.

Teste de Rigidez Dielétrica (Alta Tensão)

A rigidez dielétrica é o gradiente de voltagem no qual ocorre a falha dielétrica no material isolante sob condições determinadas, ou seja, quando a corrente elétrica consegue passar através do material, ocasionando o rompimento da amostra.

O ensaio consiste em posicionar o CP (Corpo de Prova) entre os eletrodos e imergi-los no recipiente com óleo isolante, certificando que todo o CP esteja coberto pelo óleo. Então, deve-se girar a manopla em sentido horário elevando a tensão até que ocorra a ruptura do CP, que é percebido através de um pico de tensão no kilovoltímetro, com um som característico e o desarme da fonte no painel do equipamento. Foi utilizado o equipamento de alta tensão, e baseou-se na norma ASTM D 149, método A. Para obter o valor de Rigidez Dielétrica foi usada a equação abaixo:

- Resistência Dielétrica = T_a / e (kV/mm)
- Onde: T_a = Tensão aplicada (kV/mm) e = espessura do corpo-de-prova.

Resultados

Os resultados serão apresentados e discutidos a seguir.

Caracterização do Composto Original com o Resíduo de Borracha Siliconada

Dureza

A medição de dureza no CORBS, apresentou um resultado de 57 Shore A, ficando dentro do estabelecido pela ASTM D 2240 que é de 54 a 58 Shore A para este tipo de composto. Estes resultados viabilizam a diluição bem como o uso do CORBS para a fabricação de artefatos de borracha.

Curva Reométrica

A avaliação da curva reométrica do CORBS, apresentou resultados dentro do estabelecido pela Norma ASTM D 5289 para este tipo de composto. Pode-se observar na tabela (Tabela 01) resultados muito próximos da curva reométrica do RBS e para melhor compreensão dos resultados as siglas do gráfico significam:

- ML – Viscosidade do material;
- T10 – Tempo de segurança do material (10% vulcanizado);
- T90 – Tempo ótimo (90% vulcanizado);
- MH – Torque máximo exercido

Observa-se que os valores se iniciam pela viscosidade do composto (ML), e se acentua no tempo em que o operador terá para colocar o composto na máquina sem que o mesmo vulcanize antes do fechamento da máquina (T10). Na sequência o resultado atinge o tempo estipulado para a vulcanização do composto depois de a máquina fechada (T90), chegando assim ao torque máximo exercido (MH).

Tabela 4. Medição de Curva Reométrica do CORBS

	ML	tML	MH	tMh	T10	T90	DUREZA
	Lb.in.	min	Lb.in.	min	min	min	Shore A
Valor Medido	0,61	0,1	12,47	1,5	0,24	0,74	57
Valor Máximo	0,77	0,13	14,04	1,5	0,29	0,77	58
Valor Mínimo	0,37	0,07	10,38	1,24	0,21	0,63	54

Fonte: Acervo dos autores

Densidade Hidrostática (DH)

A avaliação da Densidade Hidrostática do CORBS, apresentou um resultado de 1,183 g/cm³ ficando dentro do estabelecido pela Norma ASTM D 297 que é de 1,050 g/cm³ á 2,150 g/cm³.

Comparando com a Densidade Hidrostática do RBS, a DH do CORBS ficou com o valor menor, mas isso tem uma explicação: o RBS é uma mistura de diversas massas (com e sem carga) e sem diluição nenhuma. Como as massas com carga tem densidade maior, o resultado da DH no RBS teve um valor mais elevado.

Estes resultados viabilizam a diluição no processo, bem como, a venda do CORBS, para a fabricação de artefatos de borracha.

Resistência a Tração

Os ensaios de RT do CORBS, apresentou resultados de tensão de ruptura mínimo na faixa de 6,4 Mpa a 7,9 Mpa ficando dentro do estabelecido na Norma ASTM D 2000 que é de no mínimo 5 Mpa. O alongamento ficou na faixa de 360 % a 434 %, portanto dentro do estabelecido na Norma ASTM D 2000 que é de no mínimo 200%. Pode-se observar na tabela 2 os resultados dos ensaios de RT nos compostos RBS e CORBS.

Tabela 5. Resultados de Ensaio de Tração

Corpo de Prova	Teste	Espessura (mm)	Velocidade (mm/min)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo 50% (MPa)	Módulo 100% (MPa)	Módulo 300% (MPa)	Along. Ruptura (%)
CP 1	Normal	1,89	200,0	7,9	1,0	1,6	5,0	434
CP 2	Normal	1,96	200,0	6,6	1,0	1,6	4,9	382
CP 3	Normal	1,99	200,0	6,7	1,0	1,6	4,9	382
CP 4	Normal	1,93	200,0	7,4	1,0	1,6	5,1	399
CP 5	Normal	1,93	200,0	6,4	1,0	1,6	5,1	360
CP 6	Purga	1,88	200,0	7,4	1,0	1,7	5,1	406
CP 7	Purga	1,85	200,0	7,5	1,1	1,7	5,3	396
CP 8	Purga	1,85	200,0	7,7	1,1	1,7	5,4	398
CP 9	Purga	1,84	200,0	7,9	1,1	1,7	5,3	416
CP 10	Purga	1,87	200,0	7,0	1,1	1,7	5,2	379
Média	*	1,899	200,0	7,259	1,047	1,643	5,128	395,3
Mediana	*	1,885	200,0	7,383	1,043	1,642	5,117	397,0
Desv. Padrão	*	0,05109	0,00000	0,5430	0,02654	0,05144	0,1696	20,81

Fonte: Acervo dos autores

Na tabela 2 pode-se observar os resultados entre os ensaios de Tração do CORBS e RBS. Os valores de ambos os compostos ficaram dentro dos limites mínimos estabelecidos pela norma ASTM D 2000 para os parâmetros de tensão mínima e alongamento que são de 5 Mpa e 200%, respectivamente.

Em todos os CP submetidos aos ensaios, todos, ficaram dentro do estabelecido pela norma, para os parâmetros de tensão mínima e alongamento. Verifica-se então, a partir desses resultados, que a diluição e/ou comercialização do RBS é viável podendo ser usado na fabricação de artefatos de borracha diversos.

Os compostos do CORBS na tabela são representados por CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5. E os compostos de RBS representados por CP6, CP7, CP8, CP9 e CP10.

Teste de Rigidez (Alta tensão)

Foi realizado o Teste de Rigidez Dielétrica afim de obter o valor de falha do material isolante (CORBS), quando aplicado uma alta tensão. Foi aplicado uma tensão de 39 KV em um CP de espessura 2,08 mm, até o rompimento do CORBS.

O resultado da Rigidez dielétrica do CORBS ficou em 18,75 KV/mm, e está de acordo com o estabelecido na Norma ASTM D 149, método A. Os resultados ficaram semelhantes entre as amostras de RBS e CORBS, apresentando resultados superiores a 15,5 KV/mm, que é especificado pela norma ASTM D 149, método A.

Verifica-se então a possibilidade concreta, a partir dos resultados, da viabilidade do aproveitamento dos compostos na diluição e comercialização para fabricação de artefatos de borracha.

Detalhamento de Custo

Com os resultados obtidos é possível fazer uma análise econômica e ambiental do RBS comparando o processo original (Tabela 3) e o processo com retorno de resíduo (Tabela 4). No período de um ano houve uma geração de 4,77 toneladas de RBS, sendo que precisa de 1 Kg de RBS para confeccionar uma peça de borracha siliconada (PBS). Portanto, em um ano a geração de 4.770 PBS deixou de ser produzidas, ocasionando uma perda financeira de R\$ 14.310,00, já que cada peça custa R\$ 3,00.

Soma-se a esse prejuízo as despesas de destinação do RBS, que é de R\$ 0,42 Kg, que foi de R\$ 2006,34, mais o transporte até a unidade destinação que totalizou R\$ 600,00 no mesmo período. Sendo o somatório das duas atividades R\$ 2.606,34.

Neste período foi registrado um ônus de R\$ 16.919,34, com a geração do RBS no período de um ano. Com a diluição do RBS no processo das 4,77 toneladas de RBS gerado, pode-se produzir 954 charutos de 5 Kg. O CO de 5kg custa R\$ 17,00, ou seja, com a diluição do RBS na produção de borracha siliconada, deixou-se de gastar R\$ 16.218,00 utilizando o CORBS na produção de PBS.

Tabela 6. Processo original com as perdas de material em reais

Onus	Geração RBS Kg (1 ano)	Perdas: produção Peças (un)	Perdas: produção / Destinação (R\$)
Processo 1 – ORIGINAL	4. 770 Kg	4.770 Un	R\$ 14.310,00 / R\$ 2.003,40

Fonte: Acervo dos autores

Tabela 7. Processo com retorno de resíduo de RBS, ganhos econômicos

Bonus	Produção corbs Kg (1 ano)	Ganhos: produção peças (un)	Ganhos: produção / UTILIZAÇÃO CORBS
Processo 2 – CORBS	1.880 Kg	1.880 un	R\$ 5.640,00 / R\$ 16.218,00

Fonte: Acervo dos autores

Conforme apresentado, o estudo de aplicação da produção + limpa, nível 2 reciclagem interna trouxe ganhos econômicos e ambientais. No que se refere aos ganhos econômicos, a soma dos valores da reciclagem interna anual (produção e utilização do CORBS) de R\$21.858,00 superaram os custos das perdas e destinação final do RBS para aterro industrial de R\$16.313,40 anual.

Quanto aos aspectos benéficos da reciclagem interna do RBS, os principais impactos ambientais evitados foram: uso de recursos naturais (matéria-prima nova), ocupação de área em aterro, contaminação do solo, água e ar (pela disposição dos resíduos em aterros industriais (SÁNCHEZ, 2013). Tais impactos ambientais evitados também estão alinhados com a agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável, em particular na contribuição do atendimento dos objetivos 6 – água potável e saneamento, 12 – consumo e produção sustentável, 14 – vida na água, 15- vida terrestre (NAÇÕES UNIDAS, 2021).

Considerações Finais

Os resultados foram obtidos através de análises realizadas em laboratório, essas análises foram comparadas com a literatura existente. As análises físicas e estruturais apontaram características importantes dos materiais em estudo, deixando evidente a semelhança dos dois materiais analisados.

Entende-se que o resíduo de borracha pré-vulcanizada siliconada tem grande valor agregado. Para o seu reaproveitamento como matéria prima, onde a exigência de propriedades de segurança e contaminações sejam menores, são necessários alguns outros procedimentos passando pela segregação e encaminhamento, até atingir sua forma final.

Visto isso, pode-se concluir que a fabricação de produtos é viável, já que o resíduo de borracha siliconada apresenta características aceitáveis e muito próximas do composto original. Uma vez valorizado o resíduo, reduz-se a quantidade e os custos de aquisição de matéria-prima, minimiza-se

a disposição dos resíduos, o que diminui a pressão sobre os aterros indústrias e ainda se gera lucro com a venda das PBS produzidas a partir da diluição do RBS com o composto original.

Com a valorização do resíduo de RBS, foi possível aplicar a ferramenta de gestão ambiental produção limpa nível 2, de reciclagem interna dos resíduos para posterior utilização.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Programa Doutorado Acadêmico para Inovação – DAI, em proporcionar bolsas de estudo de doutorado e de pesquisa DT2, e a CAPES pela bolsa de mestrado, a coautores para realização desses estudos.

Referências Bibliográficas

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 149. Standart test method for dielectric breakdown voltage, 2013.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 2000 Approved by of Automotive Engineers SAE Recommended Practice J200 Standard Classification System for Rubber Products in Automitive Applications.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 2240. Standart test method for rubber propety, durometer hardness, 2010.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 297. Standart test methods for rubber products.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 5289. Standart test method rubber property.

BRITO, D. R. S.; SOUSA, W. C.; RAABE, J.; CORDEIRO, S. A. Avaliação mercadológica da borracha natural no Brasil. Revista Agroambiental, 2011.

FONSECA, CASSIO. A ECONOMIA DA BORRACHA: aspectos internacionais e defesa da produção brasileira. Rio de Janeiro: n.d,1950.

GASI, T. M. T.; FERREIRA, E.. Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações. 2 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2010.

KHALILI, N. R.; DUECKER, S.; ASHTON, W.; CHAVE, F. From cleaner production to sustainable development: the role of academia. Journal of Cleaner Production, v. 96, p. 30- 43, 2014.

LOVISON, VIVIANE M. H. Introdução ao Processo de Pesagem na Indústria da Borracha. Centro Tecnológico de Polímeros, SENAI, 2003.

MANO, E. B.; MENDES, L.C. Introdução a Polímeros. 2a ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 1999.

MILES, D.C., BRISTON. J.H. Tecnologia dos Polímeros. ed. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 364. 1975.

MORAES, C. A. M.; et al. Avaliação dos Resultados da Implementação de um Programa de Produção mais Limpa em uma Fundição: parte 2 – ganhos econômicos. In: 67 Congresso da ABM, Anais... 2012. p. 2723 – 2731; Rio de Janeiro, 2012.

NAÇÕES UNIDAS. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Brasília, DF: UN, c2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 07 julho. 2021.

NETO, G. C. O.; CHAVES, L. E/ C.; VENDRAMETTO, O. Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 65 – 80, 2010.

NETO, G., SHIBAO, F., FILHO, M., CHAVES, L. “Produção Mais Limpa: estudo da vantagem ambiental e econômica na reciclagem de polímero”, *Interciencia*, v.40(6), pp.364-373, Jun/2015.

PINHEIRO, C.; O que é feito com os materiais usados na fabricação dos calçados. São Paulo: Essencis Soluções Ambientais, 2010. Disponível em: <<http://www.essencis.com.br/imprensa/essencial-news/2010/o-que-e-feito-com-os-materiais-usados-na-fabricacaodos-calcados>>. Acesso em: jun. 2021.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. Avaliação de Impacto Ambiental Conceitos e Métodos. São Paulo. Oficina de Textos. 2008.

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial; Cinco fazes da implantação de técnicas de produção mais limpa. Porto Alegre, UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI, p. 103. 2003.

SILVINO K. S.; SILVA M. D. S. Práticas de Produção Mais Limpa (p+I): um estudo de caso em uma indústria do setor de confecções do sertão paraibano. *Rev. Campo do Saber*. Volume 7 - Número 1 - Jan/Jun. de 2021.

SINBORSUL, SINDICATO DE BORRACHA NO RIO GRANDE DO SUL. COM A PALAVRA ARLINDO PALUDO; Disponível em: <<https://sinborsul.com.br/noticia/com-a-palavra-arlindo-paludo/222>>. Acesso em: jun. 2021.

SOARES B. G.; MOREIRA V. X. Avaliação da Incorporação de Resíduo de Poli (Etilenoco-Acetato de Vinila) em Borracha Nitrílica Instituto de Macromoléculas, UFRJ, 2003.

VITAL, MARCOS H. F.; INGOUVILLE, MARTIN; PINTO, MARCO AURÉLIO CABRAL. Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos; UFSC. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA 2019. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3041/1/Estimativa%20de%20investimentos%20em%20aterros%20sanitarios_P.pdf>. Acesso em: jun. 2021.

ZENG, S. X.; MENG, X. H.; YIN, H. T.; TAM, C. M.; SUN, L. Impact of cleaner production on business performance. *Journal of Cleaner Production*, v. 28, p. 975 – 983, 2010.

ATRIBUTOS DE COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO PELA COMPOSTAGEM DE BAGAÇO DE MALTE E RESTOS DE CAPINA

| ID 19398 |

1 Paôla da Conceição Campos Malta, 2 Juliano de Carvalho Cury

1 Universidade Federal de São João Del-Rei, e-mail: paolacamposufsj@gmail.com; 2 Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Campus Campo Grande, e-mail: juliano.cury@ufms.br

Palavras-chave: Compostagem; Bagaço de Malte; Restos de Capina.

Resumo

O bagaço de malte é o principal resíduo da indústria cervejeira, correspondendo a 85% do total de subprodutos gerados na produção da cerveja e normalmente é descartado por cervejeiros artesanais caseiros como lixo comum. Os restos de capina são resíduos provenientes da limpeza de áreas verde e são produzidos em grande quantidades. Uma alternativa para o tratamento desses resíduos orgânicos é a compostagem. O estudo teve como objetivo produzir e testar a eficiência agrônômica de compostos orgânicos feitos pela compostagem bagaço de malte obtido da produção de cerveja artesanal caseira em Sete Lagoas-MG misturados a restos de capina provenientes das podas realizadas na Universidade Federal de São João Del-Rei no *Campus Sete Lagoas*. Durante o período da compostagem foram monitorados os parâmetros de temperatura, umidade, pH, Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e relação C/N e foi feita a análise granulométrica do composto final. Para testar a eficiência agrônômica dos compostos orgânicos produzidos, foram realizados bioensaios no crescimento das plantas Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), Salsa-lisa (*Petroselinum crispum*). Os resultados mostraram que a compostagem de bagaço de malte e restos de capina teve uma duração da fase termófila de 37 dias. O pH do composto final foi de $7,7 \pm 0,08$ atendendo o mínimo exigido pela legislação brasileira para comercialização. Quanto a granulometria, os compostos de bagaço de malte e restos de capina apresentou maior fração com partículas menor que 1 mm. Com relação ao Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e relação C/N do composto orgânico produzido, todos atenderam aos valores mínimos exigidos pela legislação brasileira para a comercialização. Nos experimentos dos bioensaios, os compostos incrementaram no crescimento das plantas.

Introdução

O aumento populacional somado à crescente urbanização resultou na geração de grandes quantidades de resíduos, que levaram a uma série de desafios ambientais, sociais e econômicos, principalmente em países em desenvolvimento (AWASTHI et al., 2014; SUKHOLTHAMAN e SHARP, 2016). Para superar esses desafios, deve-se adotar estratégias para o gerenciamento desses resíduos (MOH e MANAF, 2017). Entre as opções existentes para tratamento de alguns destes resíduos, destaca-se a compostagem, devido aos benefícios associados, como a higienização dos resíduos, conversão dos resíduos em produto de valor agregado e rentabilidade, tornando-se uma solução ambientalmente e economicamente viável (TOSUN et al., 2008; QIAN et al., 2014). De acordo com INÁCIO e MILER (2009), a compostagem pode ser definida como um processo controlado onde ocorre a decomposição aeróbia de materiais orgânicos realizada por micro-organismos, que processam essa matéria orgânica para obter energia e nutrientes e, conseqüentemente, transformam compostos químicos complexos em estruturas mais simples. Como resultado final do processo de compostagem é gerado um substrato de alto valor químico-físico-biológico, o qual pode ser utilizado como fertilizante orgânico e condicionador do solo (PIRES; FERRÃO, 2017). A compostagem é considerada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu Artigo 3º, inciso VII, como uma forma de destinação final ambientalmente adequada para os resíduos orgânicos (BRASIL, 2010). Esta técnica destrói a viabilidade das sementes de plantas invasoras e os micro-organismos patogênicos, além de diminuir o volume e estabilizar a matéria orgânica que se destinaria ao aterro sanitário (FIALHO e PEREIRA, 2013). O composto pode servir como um recurso importante para melhorar a qualidade do solo na medida em que fornece nutriente e matéria orgânica, indispensáveis para um desenvolvimento vegetal saudável, além de agregar as partículas de solo, beneficiar a microflora, melhorar a infiltração da água da chuva, aumentar a capacidade de retenção de água e contribuir para a redução das perdas de solo por erosão (VIDIGAL et al., 2015). Existe uma grande procura por produtos mais saudáveis e produzidos sem a adição de fertilizantes químicos, que provoca certos estímulos na agroindústria mundial, tornando o composto orgânico uma alternativa viável que ataca dois grandes problemas sociais: a produção de alimentos e a poluição ambiental. Este mercado é emergente e está carente de soluções alternativas através de metodologias ambientalmente responsáveis e economicamente viáveis (FIALHO e PEREIRA, 2013). Assim, a prática da compostagem contribui para o desenvolvimento sustentável, já que colabora para a destinação racional de resíduos sólidos orgânicos ao mesmo tempo em que fornece um tipo de fertilizante que pode substituir em parte os fertilizantes industrializados. O interesse na utilização de resíduos orgânicos na agricultura brasileira, devidamente compostados, fundamenta-se nos

elevados teores de carbono de compostos orgânicos e de nutrientes neles contidos, no aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e na neutralização da acidez dos solos. O aumento dos teores de compostos orgânicos e de nutrientes do solo pode significar melhorias nas suas propriedades físicas e químicas e, conseqüentemente, incrementos na produtividade e na qualidade dos produtos agrícolas, bem como redução nos custos de produção (ABREU JUNIOR, PIRES; COSCIONE, 2009). A produção de cervejas artesanais por micro cervejarias tem aumentado muito nos últimos anos no Brasil (AFREBRAS, 2015). O bagaço do malte é um resíduo vegetal gerado no processo de fabricação da cerveja, formado pela parte sólida retida no processo de filtração do mosto cervejeiro antes da fervura. Este resíduo corresponde a 85% do total de subprodutos gerados pela indústria cervejeira (MUSSATTO, 2014) e, de acordo com SMEENK (2010), pode se tornar uma fonte relevante de nitrogênio e matéria orgânica para a compostagem. O bagaço de malte produzido por grandes indústrias cervejeiras costuma ser vendido seco a pecuaristas para a alimentação animal. Já uma microcervejaria, que normalmente não possui em sua planta industrial a fase de secagem do bagaço, precisa descartar este material caso não tenha quem o retire imediatamente, pois o bagaço de malte, rico em açúcares, começa a sofrer um processo de fermentação imediato, exalando odores e chorume em poucas horas. Além disso, precisamos considerar também o bagaço de malte produzido por cervejeiros artesanais caseiros, que normalmente o descartam como lixo comum. Estes cervejeiros artesanais caseiros poderiam utilizar o bagaço de malte para a produção de composto orgânico para ser aplicado em hortas e jardins. A poda de capina é um material rico em carbono e de fácil obtenção, servindo de material complementar ao bagaço de malte no processo de compostagem e produção do composto orgânico.

Material e Métodos

O processo de compostagem foi realizado no Campus Sete Lagoas da Universidade Federal de São João del-Rei. O bagaço de malte foi obtido da produção de cerveja artesanal caseira em Sete Lagoas- MG. Para a montagem da pilha de compostagem, é necessário que sua composição inicial tenha a relação C/N próxima de 30:1. Como a relação C/N do bagaço de malte é estimada em 7:1 (ABOUKILA et al., 2016), foi necessário adicionar um material com alto teor de carbono. Dessa forma, foi utilizado material proveniente de capina realizada no próprio CSL, composto predominantemente de braquiária, que possui relação estimada de C/N próxima de 32 (SOUZA et al., 1999). O capim coletado foi exposto ao sol para sua secagem, enquanto que o bagaço de malte foi utilizado úmido, como coletado após o processo de mostura e drenagem durante a fabricação de cerveja artesanal caseira. Mediu-se a umidade de cada material por meio do método de secagem em estufa a 60°C até

peso constante, sendo os valores encontrados de 10,1% e 72% para o capim e o bagaço de malte, respectivamente. Para determinar a massa necessária de cada material para a constituição da pilha de compostagem com a relação C/N inicial de 30/1, empregou-se a Equação 2, utilizada no trabalho de FERNANDES e CHOIFI (2010). Determinou-se uma massa inicial de capim (W2) para se encontrar a massa de bagaço de malte (W1), necessária para realizar a mistura. Para os cálculos foram utilizados os valores de massa seca dos materiais. Para medir o volume de capim a ser adicionado em cada pilha de compostagem, foi utilizada como medida uma caixa d'água de 500L. Cada pilha de compostagem foi montada contendo 1,5 m³ de capim, o que correspondeu a 105Kg de capim. O valor do peso do capim (W2) foi substituído na Equação (1), obtendo-se como resultado a necessidade de aplicação de 8,180 Kg de bagaço de malte úmido (W1).

$$W2 = \frac{\left[(W1 \times N1) \times \left(R - \left(\frac{C1}{N1} \right) \right) \times (100 - M1) \right]}{N2 \times \left(\left(\frac{C2}{N2} \right) - R \right) \times (100 - M2)}$$

Onde: W2 é a massa (kg) do material fonte de C; W1 é a massa (kg) do material fonte de N; N1 é o conteúdo (%) de nitrogênio do material fonte de N; R é a relação C/N necessária à compostagem; C1 é o conteúdo de carbono (%) do material fonte de N; M1 é a umidade (%) do material fonte de N; N2 é o conteúdo (%) de nitrogênio do material fonte de C; C2 é o conteúdo de carbono (%) do material fonte de C; M2 é a umidade (%) do material fonte de C.

Foram montadas três pilhas (repetições) de compostagem dispostas a céu aberto, onde foram misturadas as quantidades calculadas de cada material enquanto realizava-se a irrigação para aumentar a umidade (Figura 1). Três dias após a montagem, iniciaram-se as medições de temperatura do ambiente, a temperatura interna da pilha de compostagem, o revolvimento e o umedecimento das pilhas. Os procedimentos foram repetidos a cada três dias até o final da fase termófila da compostagem, quando a temperatura do interior da pilha se estabilizou em valores próximos aos da temperatura do ar. Após a fase termófila, o revolvimento passou a ser realizado a cada 7 dias. A determinação da temperatura interna da pilha de compostagem foi realizada utilizando-se um termômetro de mercúrio com escala de 0°C a 100°C anexado a um cabo de madeira, sendo inserido na região central da pilha a uma profundidade de 50 cm, permanecendo no seu interior por um período de 10 minutos antes da leitura. Para o umedecimento do material das pilhas,

foi realizada a irrigação durante o processo de reviramento até o ponto em que, ao apertar uma porção do material com a mão, a água aparecia entre os dedos, sem escorrer.



Figura 1: Pilhas de compostagem montadas utilizando-se material proveniente de restos vegetais de poda de capim e bagaço de malte proveniente da produção artesanal caseira de cerveja. Local: UFSJ – Campus Sete Lagoas.

Fonte: Autora do Trabalho.

Ao final de 120 dias, o composto final maturado ficou secando exposto ao sol. Após a secagem, realizou-se o peneiramento do material em peneira com abertura de malha de 3mm para separar o material grosseiro e, posteriormente, o composto foi ensacado (Figura 2). Com o composto maturado coletou-se de cada pilha o volume de 1L de composto para a determinação da granulometria, 50 mL para a determinação do pH e 50 mL para a determinação da relação C/N. Para a determinação do pH final do composto orgânico, 10 g da amostra peneirada foram adicionados a 50 mL de água deionizada. Em seguida a mistura foi agitada por 5 minutos em mesa agitadora a 120 rpm, ficando em seguida em repouso por 30 minutos antes da determinação do valor do pH com utilização do pHmetro (MARAGNO; TROMBIN; VIANA, 2007).



Figura 2: Armazenamento do composto orgânico maturado, obtido da compostagem de restos vegetais de poda de capim e bagaço de malte, em sacos. Local: UFSJ – Campus Sete Lagoas.

Fonte: Autora do Trabalho.

Finalizado o processo de compostagem, o composto orgânico passou por um período de secagem à sombra. Para a determinação da granulometria foram coletadas dos 600 mL do material. Em seguida o material foi peneirado em um conjunto de peneiras acopladas com malhas de 4,0 mm e 1,0 mm, agitando-se em seguida manualmente por 5 minutos. O material retido e que passou por cada peneira foi então, separadamente, secado em estufa a 60°C até peso constante. Para a determinação do Carbono orgânico total dos compostos produzidos foi utilizado o método da combustão por via seca (CARMO e SILVA, 2012). A análise das amostras foi realizada no equipamento TOC-L (Total Organic Carbon, SHIMADZU). A determinação do teor de Nitrogênio total dos compostos produzidos foi realizada pelo método de Kjeldahl, conforme a metodologia de GOMES e OLIVEIRA (2011). A relação C/N foi calculada pela divisão dos resultados em porcentagem obtidos para o Carbono orgânico total e o Nitrogênio total, conforme BRASIL (2014). Baseado no trabalho de GONÇALVES et al. (2014) para avaliação da eficiência agrônômica do composto orgânico produzido, foi realizado um bioensaio com as plantas Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e Salsa-lisa (*Petroselinum crispum*). O Pinhão-manso é uma espécie arbustiva de crescimento rápido, considerado uma cultura potencial para suavizar a degradação do solo, desertificação e desmatamento, produz nozes ricas em óleo que podem ser usadas na fabricação de biodiesel, substituindo parte do diesel do petróleo (ABOU KHEIRA; ATTA, 2009). A Salsa-lisa é uma espécie olerícola de grande importância econômica, sendo considerada uma das plantas condimentares mais populares da gastronomia mundial e uma excelente fonte de vitamina A, vitamina C, niacina, riboflavina, cálcio, ferro e fósforo (FACTOR et al., 2008). Para o experimento de bioensaio, realizou-se um delineamento experimental

inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e três repetições, sendo os tratamentos: 1) CP, controle positivo, contendo apenas o composto; 2) 2:1, contendo duas partes de composto e uma de solo; 3) 1:1, contendo uma parte de composto e uma parte de solo; 4) 1:2, contendo uma parte de composto e duas partes de solo; 5) CN, controle negativo, contendo apenas o solo. As sementes foram semeadas em sacos plásticos para mudas contendo 1,7 L de substrato. Foram semeadas três sementes em cada saco, sendo efetuado o desbaste após a germinação, permanecendo até o final do experimento apenas uma planta por saco (Figura 3).



Figura 3: Bioensaio utilizando Pinhão-mansão e Salsa-lisa.
Fonte: Autora do Trabalho.

Aos 54 dias após a semeadura foram determinados os valores das variáveis: diâmetro do caule (DIAM); altura da planta (ALT). Para a determinação da altura da planta a medição foi realizada a partir do colo da planta até a extremidade mais alta, usando uma régua graduada. O diâmetro do caule foi medido ao nível do solo, utilizando-se um paquímetro (Figura 4). As plantas foram então retiradas dos sacos e separadas em parte aérea e raízes. As raízes foram lavadas para a remoção de partículas de substrato para que pudessem ser determinados os valores das variáveis: MSPA – massa da matéria seca da parte aérea; MSR – massa da matéria seca das raízes. As pesagens foram realizadas em balança semi-analítica e a secagem do material foi realizada em estufa com ventilação forçada a 65 °C até peso constante. Os dados obtidos nos bioensaios foram submetidos à análise de variância, comparando-se as médias pelo teste de Scott & Knott ao nível de 5% de significância.



Figura 4: Determinação da altura e diâmetro do caule de plantas de Pinhão-mansô crescendo em solo adubado com composto orgânico feito à base de bagaço de malte.
Fonte: Autora do Trabalho.

Resultados e Discussão

A Figura 5 mostra a variação da temperatura do interior das pilhas e do ar no exterior das pilhas ao longo do processo de compostagem. No terceiro dia de compostagem, quando foi realizada a primeira medição, a temperatura no interior das pilhas já havia atingido $40,5 \pm 2,18^\circ\text{C}$, caracterizando o início da fase termófila (acima de 40°C). O pico de temperatura ocorreu entre o décimo terceiro e o décimo sexto dia de compostagem, com temperatura de $51,3 \pm 0,58$. Após isso, a temperatura do interior das pilhas de compostagem foi diminuindo até o término da fase termófila, aos 37 dias, iniciando-se o processo de humificação. A temperatura é uma importante variável para avaliar o processo de compostagem e a atividade microbiana responsável pela degradação da matéria orgânica (AWASTHI et al., 2016). De acordo com FERNANDES (1999), se na compostagem forem registradas temperaturas na faixa de 40 a 60°C no segundo ou terceiro dia, é sinal de que ela está equilibrada quanto às características físico-químicas e tem todas as chances de ser bem-sucedida.

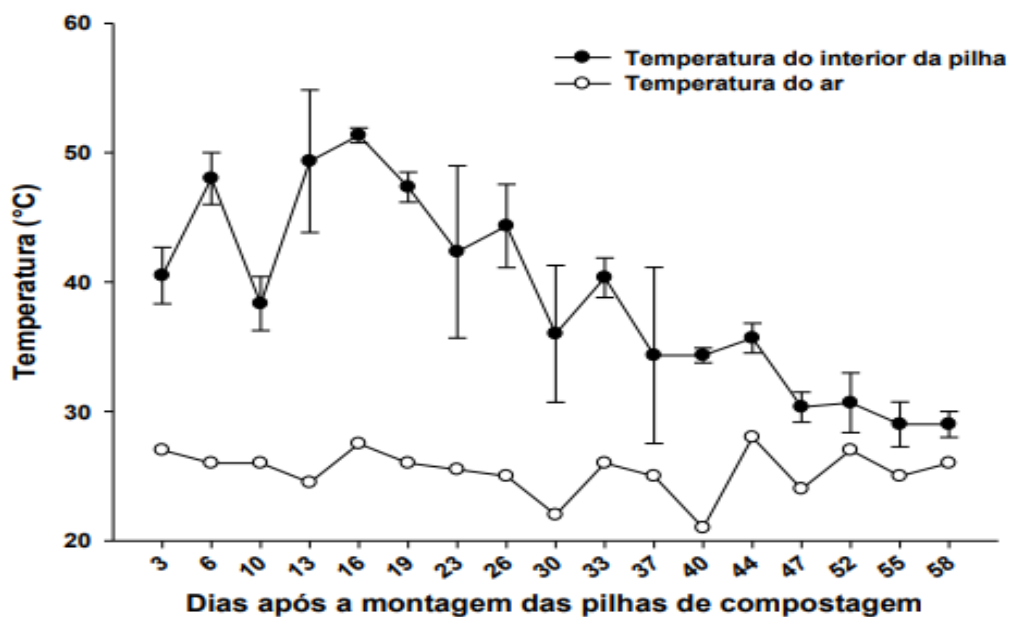


Figura 5: Temperatura no interior das pilhas e do ar no exterior das pilhas durante a compostagem com bagaço de malte e restos de capina.

Após 120 dias de compostagem (final do processo), o pH do composto maturado das pilhas foi de $7,7 \pm 0,08$. Segundo BARREIRA (2005), a legislação brasileira permite que o pH final do composto para a comercialização seja de no mínimo 6,0 com tolerância no mínimo 5,4. Dessa maneira, composto final do experimentos atendeu a exigência da legislação. O composto maturado apresentou $37,13 \pm 5,2\%$ de Carbono orgânico total e $2,06 \pm 0,3\%$ de Nitrogênio total, resultando em relação C/N de $18,44 \pm 4,7$. De acordo com a Instrução Normativa no 25 do Ministério da Agricultura, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009), o composto orgânico pronto, para que esteja em conformidade com a legislação, deve possuir as seguintes características: mínimo de 15% de Carbono orgânico; mínimo de 0,5% de Nitrogênio total; relação C/N de, no máximo, 20/1. Com base nesses dados, os compostos orgânico final apresentou valores adequado à legislação. Quanto à granulometria do composto final, $40,0 \pm 2,3\%$ do material apresentou granulometria menor que 1mm, $36,3 \pm 3,7\%$ apresenta granulometria entre 1 e 4mm e $23,7 \pm 5,5\%$ apresenta granulometria acima de 4mm (Figura 6).

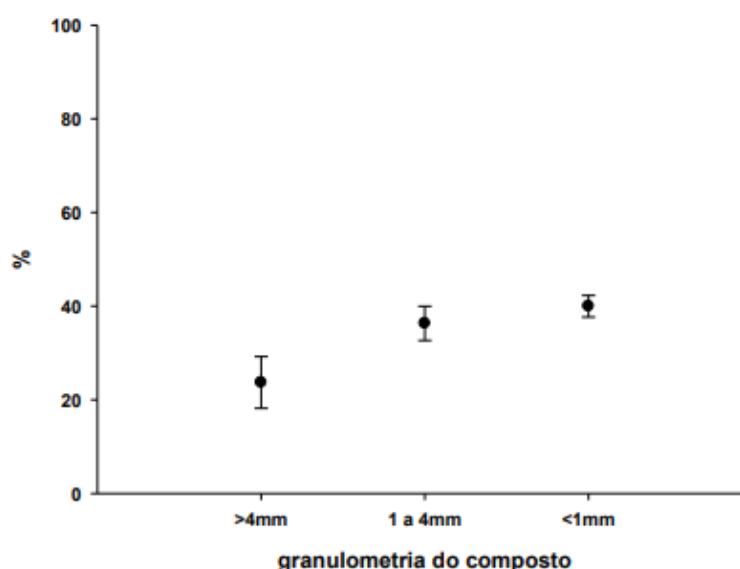


Figura 6: Granulometria do composto orgânico produzido com bagaço de malte e restos de capina.

De acordo com o resultado obtido, o composto produzido não apresentou granulometria que se enquadrasse na classificação de fertilizantes orgânicos da Instrução Normativa no 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009). Dessa forma, caso o produto fosse comercializado, deveria ser identificado com a expressão “PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA”. A tabela 1 apresenta a análise de variância (ANOVA) do experimento de bioensaio de crescimento de Pinhão-manso e Salsa-lisa em solo adubado com o composto orgânico proveniente da compostagem de bagaço de malte e restos de capina. De acordo com a ANOVA, as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro do caule (DIAM) e altura da planta (ALT) tiveram resultados significativos, tanto para o Pinhão-manso quanto para a Salsa-lisa.

Tabela 1: Análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), diâmetro do caule (DIAM) e altura (ALT) de plantas de Pinhão-manso e Salsa-lisa crescendo em solo adubado com diferentes concentrações de composto orgânico de bagaço de malte e restos de capina

		QM							
		Pinhão-manso				Salsa			
FV	GL	MSPA	MSR	DIAM	ALT	MSPA	MSR	DIAM	ALT
TRAT	4	7,85**	0,16	0,127**	34,7**	0,39**	0,03	0,062**	96,4**
RE	10	0,19	0,05	0,002	5,1	0,02	0,01	0,003	4,5
CV (%)		8,3	24,8	3,9	7,5	20,9	41,3	13,4	10,7

**Significativo a 1% de probabilidade; FV = fonte de variação; GL = graus liberdade; TRAT = tratamentos; RE = resíduo; CV = coeficiente de variação.

A tabela 2 apresenta a comparação das médias dos valores das variáveis que apresentaram significância na ANOVA. Considerando o crescimento de Pinhão-manso, os tratamentos contendo apenas o composto (controle positivo) e o Composto + Solo 2:1 apresentaram maiores valores de MSPA, DIAM e ALT do que os demais tratamentos, sem diferirem entre si. No crescimento da Salsalisa, as variáveis MSPA e ALT não apresentaram diferenças entre os tratamentos, com exceção do controle negativo (apenas solo), que apresentou valores significativamente menores. Já para o diâmetro do caule, os tratamentos Composto, Composto + Solo 2:1 e Composto + Solo 1:1 tiveram resultados semelhantes, apresentando valores significativamente maiores do que no tratamento Composto + Solo 1:2 que, por sua vez, apresentou valor significativamente maior do que o controle negativo (apenas solo).

Tabela 2: Comparação dos valores médios (Scott & Knott a 5% de probabilidade) da massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro do caule (DIAM) e altura (ALT) de plantas de Pinhão-manso e Salsalisa crescendo em solo adubado com diferentes concentrações de composto orgânico de bagaço de malte e restos de capina.

Tratamentos	Pinhão-manso			Salsa		
	MSPA --- g ---	DIAM --mm--	ALT --cm--	MSPA -- g --	DIAM --mm--	ALT -cm-
Composto	6,93 a	1,60 a	33,83 a	1,02 a	0,57 a	20,5 a
Composto + Solo 2:1	6,60 a	1,57 a	33,90 a	0,75 a	0,50 a	23,9 a
Composto + Solo 1:1	5,26 b	1,33 b	29,87 b	0,81 a	0,50 a	23,3 a
Composto + Solo 1:2	4,09 c	1,30 b	28,07 b	0,54 a	0,38 b	21,3 a
Solo	3,13 c	1,10 c	26,33 b	0,07 b	0,20 c	9,97 b

As plantas de Pinhão-manso, tanto no tratamento contendo somente composto quanto no tratamento onde uma maior proporção de composto foi aplicada ao solo, apresentaram melhores resultados de crescimento em todas as variáveis avaliadas. Já para Salsalisa, independente das proporções de composto orgânico misturadas ao solo, as plantas apresentaram maiores rendimentos nas variáveis de crescimento comparadas às plantas que cresceram somente em solo. Os resultados dos bioensaios claramente mostram que a aplicação do composto orgânico no solo estimula o crescimento, principalmente da parte aérea das plantas. Importante salientar que, para todas as variáveis de crescimento de ambas as plantas, não houve diferença significativa entre o controle positivo (apenas o composto) e o tratamento Composto + Solo 2:1, indicando que a aplicação ao solo de duas partes do composto produzido já é suficiente para o aumento do crescimento nos mesmos

níveis do que se apenas o composto for utilizado. De acordo com SCHULZ et al. (2012), o uso da adubação orgânica no cultivo de Pinhão- manso pode aumentar sua produtividade e reduzir os custos com o uso do fertilizante convencional, resultando em aumento da renda agrícola, SÁNCHEZ-MONEDERO et al. (2004) também observaram maiores crescimentos de brócolis quando aplicadas proporções crescentes de compostos orgânicos em turfa e associaram isso ao aumento da quantidade de nutrientes.

Considerações Finais

O composto orgânico produzido com bagaço de malte complementado com restos de capina, apresentou as características de pH, Carbono orgânico, Nitrogênio total e relação C/N exigidas pela legislação brasileira. Para fins de comercialização, o composto produzido seria classificados como “Produto sem especificação granulométrica” pela legislação brasileira. Os resultados mostraram que o composto orgânico incrementou no crescimento das plantas.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Federal de São João Del-Rei - *Campus Sete Lagoas* pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

- Abou Kheira, A. A.; ATTA, N. M. M. 2009. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficit: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy*, v. 33, n. 10, p. 1343–1350.
- Aboukila, E. F.; Nassar, I. N.; Rashad, M.; Hafez, M.; Norton, J. B. 2016. Reclamation of calcareous soil and improvement of squash growth using brewers’ spent grain and compost. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Abreu Junior, C. H.; Pires, A. M. M; Coscione, A. R. 2009. Utilização agrícola de composto de resíduo sólido urbano. Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE).
- Awasthi, M. K.; Pandey, A. K.; Bundela, P. S.; Wong, J. W. C.; LI, R.; Zhang, Z. 2016. Co-composting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. *Bioresource Technology*, v. 213, p. 181–189.
- Awasthi, M. K.; Pandey, A. K.; Khan, J.; Bundela, P. S.; Wong, J. W. C.; Selvam, A. 2014. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. *Bioresource Technology*, v. 168, p. 214–221.
- Barreira, L. P. 2005. Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção. Tese de Doutorado. São Paulo.
- Brasil. Instrução Normativa 25, de 23 de julho de 2009. Dispõe sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, DF, 23 de jul. de 2009 p.18.

Brasil. Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.html.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2014. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Brasília: in/ SDA/CGAL, 220 p.

Carmo, D. L. do.; Silva, C. A. 2012. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 4, p. 1211–1220.

Factor, T. L.; Purquerio, L. F. V.; Lima Júnior, S.; Araújo, J. A. C.; Curi, E. L.; Tivelli, S. W. 2008. Produção de salsa em função do período de cobertura com Agrotêxtil. *Horticultura Brasileira* 26: S4228-S4232, v. 26, n. 2, p. 5.

Fernandes, F. J.; Chohfi, F. M. 2010. Determinação da mistura ótima para compostagem de dejetos suínos utilizando maravalha de madeira. *Revista Agrogeoambiental*, v. 2, n. 1, p. 109- 116.

Fernandes, F. Manual prático para a compostagem de biossólidos. 1999. In: Manual prático para a compostagem de biossólidos. PROSAB.

Fialho, M. L.; Pereira, L. A. A. 2013. Gestão da sustentabilidade: Compostagem otimizada em resíduos sólidos orgânicos com a utilização de metodologia enzimática na implantação de uma 'usina de compostagem de lixo no município de Santa Juliana/MG. *International Journal of Knowledge Engineering and Management (IJKEM)*, v. 2, p. 52–85.

Gomes, J. C.; Oliveira, G. F. 2011. Análises físico-químicas de alimentos. Viçosa: Editora UFV, 303p.

Maragno, E. S.; Trombin, D. F.; VIANA, E. 2007. O uso da serragem no processo de minicompostagem. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, p. 355–360.

Moh, Y. C.; Manaf, L.A. 2017. Solid waste management transformation and future challenges of source separation and recycling practice in Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 116, p. 1-14.

Mussatto, S. I. 2014. Brewer's spent grain: A valuable feedstock for industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 94, n. 7, p. 1264–1275.

Pires, I. C. G.; Ferrão, G. da E. 2017. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. *Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 9.

Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cegarra, J., Bernal, M. P., Noguera, P., Abad, M., & Antón, A. 2004. Composts as media constituents for vegetable transplant production. *Compost Science & Utilization*, 161-168.

Schulz, D. G., Fey, R., Ruppenthal, V., Malavasi, M. D. M., & Malavasi, U. C. 2012. Initial growth of physic nut as a function of sources and doses of organic fertilizers. *Ciência e Agrotecnologia*, 36(6), 615-623.

Souza, L. S.; Velini, E. D.; Maimoni-Rodella, R. C. S.; MARTINS, D. 1999. Teores de macro e micronutrientes e a relação c/n de várias espécies de plantas daninhas. *Planta Daninha*, v. 17, n. 1, p. 5.

Tosun, I.; Gönüllü, M. T.; Arslankaya, E.; Günay, A. 2008. Co-composting kinetics of rose processing waste with OFMSW. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 14, p. 6143–6149.

Vidigal, S. M.; Ribeiro, A. C.; Casali, V. W. D.; Fontes, L. E. F. 2015. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica. I-ensaio de campo. *Ceres*, v. 42, n. 239, 2015. *Revista Ceres*, v. 42, n. 239.

PRODUÇÃO MAIS LIMPA APLICADA EM SALÃO DE BELEZA

| ID 19406 |

1Julia Oliveira Gomes, 2Felipe Gribeler Backes, 3Julia da Silveira, 4Larissa Gonçalves, 5Thami Trein, 6Henrique Lisboa da Cruz, 7Carlos Alberto Mendes Moraes

1Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), e-mail: joliveirag@edu.unisinos.br; 2UNISINOS, e-mail: fgbackes@edu.unisinos.br; 3UNISINOS, e-mail: jus@edu.unisinos.br; 4UNISINOS, e-mail: glarissa@edu.unisinos.br; 5UNISINOS, e-mail: thamit@edu.unisinos.br; 6 Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - UNISINOS, e-mail: hlcruz@edu.unisinos.br; 7 Programas de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Civil - UNISINOS, e-mail: cmoraes@unisinos.br

Palavras-chave: produção mais limpa; salão de beleza; resíduo.

Resumo

A necessidade de adaptar processos produtivos, produtos e serviços às demandas ambientais torna essencial a adoção de ferramentas capazes de prevenir impactos negativos oriundos das atividades antrópicas, ferramentas essas que diferem das tecnologias de fim-de-tubo as quais focam somente na destinação ou tratamento dos resíduos. A Produção Mais Limpa (P+L) é uma metodologia capaz de atuar na prevenção da poluição de todos os tipos de processos, produtos ou serviços. Este artigo buscou analisar possíveis ações de P+L em um salão de beleza localizado no município de Osório, litoral norte do estado do Rio Grande do Sul. Para atingir este objetivo, foi utilizado como base o material do CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas, que apresenta cinco passos principais para a implementação de um Programa de Produção Mais Limpa. Este artigo contempla as quatro primeiras etapas do programa, ficando a cargo do estabelecimento decidir finalizá-lo e implementá-lo. A escolha do empreendimento a ser analisado se deu devido ao potencial poluidor de alguns serviços prestados em salões de beleza. Além de ser um empreendimento comum e difundido, gera resíduos perigosos que não recebem merecida atenção por parte da legislação ambiental vigente. Visto isso, o programa iniciou com uma reunião técnica para o primeiro contato com a alta direção da empresa, em que já ficou definida a equipe de projeto (ecotime), composta pela proprietária e pela equipe de pesquisa. A abrangência do programa foi os três serviços realizados com mais frequência no salão de beleza: procedimentos capilares (coloração, corte, pintura e progressiva), manicure/pedicure e design de sobrancelhas/epilação egípcia. A partir da observação dos procedimentos, o grupo de pesquisa formulou o fluxograma, o diagrama de bloco quantitativo e

a planilha de aspectos e impactos ambientais de cada um dos serviços em estudo. As informações obtidas permitiram definir as etapas dos processos que geram impactos significativos. O uso de produto alisador (contendo formol) no serviço de progressiva de cabelo e a remoção de esmaltes com acetona no serviço de manicure/pedicure, são as atividades que obtiveram maior significância na avaliação realizada. Estas foram, então, a prioridade no sentido de oportunidades de melhoria a serem incluídas na pesquisa. O serviço de design de sobrancelhas/epilação egípcia obteve significância moderada, o que significa que pode ser tratado em um segundo momento do programa. Definido o foco da avaliação, foram encontradas oito possíveis ações de cunho corretivo: padronização da quantidade de produto utilizado nos cabelos, instalação de redutores de vazão e arejadores, reutilização da água do lavatório para limpeza do salão, alteração no processo de molho dos pés, substituição de produtos químicos agressivos (progressiva com formol) por produtos naturais, adoção de kits individuais para cada cliente, adoção de materiais não-descartáveis pelas colaboradoras e parceria com recicladores locais. Estas ações visam diminuir o desperdício de matéria-prima, água e energia; diminuir a emissão de efluentes com alta carga química (efluente do lavatório utilizado na progressiva) e o descarte de resíduos, incluindo o algodão com acetona, considerado um resíduo perigoso de acordo com a classificação ABNT NBR 10004:2004. Para se certificar da viabilidade destas ações foi realizada uma avaliação ambiental, obtendo-se a viabilidade ambiental para todas as ações propostas. A avaliação da viabilidade econômica foi feita para a proposta de substituição do produto alisador utilizado na progressiva de cabelos por outro composto por substâncias naturais, considerada a modificação de processo mais relevante. Esta avaliação comprovou a viabilidade econômica da proposta, além de demonstrar uma diminuição de 5,5% no custo com o produto alisador. Com a finalidade de avaliar a eficiência do programa e a evolução dos aspectos e impactos significativos foram desenvolvidos indicadores ambientais para o consumo de água e energia elétrica e para a geração de resíduo e efluente perigoso com a meta de diminuir em 10% o valor estimado através das contas de água e luz e do diagrama de blocos quantitativo. A partir dos dados obtidos é possível afirmar a eficiência da ferramenta Produção Mais Limpa em encontrar alternativas de processo buscando evitar a geração de resíduos e efluentes potencialmente poluidores. A P+L, através dos fluxogramas, diagramas de bloco e da planilha de aspectos e impactos, possibilitou oferecer ao empreendimento oito possibilidades de melhoria em seus serviços.

Introdução

Empresas de todos os segmentos estão cada vez mais preocupadas em atingir e demonstrar um desempenho socioambiental positivo. Na área da beleza isso não é diferente. Os atuais padrões

de serviços prestados são, em sua maioria, ambientalmente insustentáveis. Paralelamente a isso, as empresas entendem que, para se manterem atuando de forma competitiva, terão que integrar cada vez mais componentes socioambientais aos seus processos produtivos, às suas estratégias comerciais e ao seu planejamento de longo prazo. Nesse contexto, as organizações têm trabalhado na prevenção da geração de resíduos do processo, o que já é significativo. Há, porém, estratégias que buscam integrar os objetivos ambientais em todas as etapas do processo produtivo, produto ou serviço. Esse é o princípio no qual se baseia a metodologia da Produção Mais Limpa (P+L) (FONSECA, et. al., 2013). A P+L busca aumentar a eficiência dos processos produtivos através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos, pela otimização dos recursos empregados, como matérias-primas, água e energia, bem como pela substituição de matérias-primas e insumos considerados danosos à saúde em geral, trazendo além dos benefícios ambientais, também econômicos e de saúde ocupacional. (CNTL, 2003).

Esta foi, então, a metodologia escolhida para ser aplicada no Salão de Beleza Bless Unisex, localizado no município de Osório-RS, com o objetivo de propor alternativas para redução do consumo de insumos e matérias-primas, de minimizar a geração de resíduos de processo e de substituir produtos perigosos por outros de menor impacto. O programa de Produção Mais Limpa foi estruturado a partir do fluxograma de processos, levantamento de entradas e saídas e por meio da definição das etapas de maior impacto ambiental, que tiveram prioridade no que tange à mitigação.

Material e métodos

O modelo que serviu de base para a identificação das oportunidades de implantação do Programa de Produção Mais Limpa no salão de beleza Bless Unisex é o modelo criado pela CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas, publicado em 2003 pelo SENAI-RS em parceria com UNIDO e INEP (CNTL, 2003). O CNTL propõe cinco etapas principais para a implementação, dos quais as 4 primeiras etapas foram estudadas neste trabalho. O modelo inicia com uma visita técnica, pela qual foi realizada uma pré-sensibilização do público-alvo (alta direção da empresa), destacando casos bem-sucedidos e os benefícios econômicos e ambientais que a P+L oferece à empresa.

Realizada a primeira visita, a etapa 1 consistiu na obtenção do comprometimento gerencial, de suma importância para que o programa alcance resultados consistentes; na identificação de barreiras à implementação e busca de soluções a fim de prever e sanar possíveis dificuldades nas próximas etapas; no estabelecimento da amplitude do programa, definindo a sua abrangência na empresa, por exemplo, se o programa irá incluir toda a empresa ou somente um setor, por qual setor

será iniciado, se há algum setor crítico, etc; e em estabelecer o ecotime que deverá ser composto, além da equipe de pesquisa, por profissionais da própria empresa com o objetivo de coordenar, conduzir e dar continuidade ao programa.

A etapa 2 do programa contemplou o estudo do fluxograma do processo produtivo, uma análise detalhada que permite a definição do fluxo de matéria-prima, água e energia, além da clara visualização da geração de resíduos no processo. De posse do fluxograma, o ecotime realizou o diagnóstico ambiental e de processo que consistiu na quantificação de dados de produção, como entradas (matéria-prima, água, energia e outros insumos), saídas (resíduos, efluentes, subprodutos e produtos) e dados da situação ambiental da empresa. Utilizando os dados quantitativos e o diagnóstico ambiental, a planilha de aspectos e impactos ambientais foi elaborada visando destacar as atividades e operações da empresa que requerem maior atenção, ou seja, a planilha permitiu selecionar o foco de avaliação.

Na etapa 3, foi realizada a análise quantitativa das entradas e saídas das etapas que receberam prioridade no momento de seleção do foco da avaliação. Nesta etapa, também foram definidos os indicadores que são indispensáveis para avaliar a eficiência do programa e o desenvolvimento das ações de P+L propostas. Identificadas as causas de geração dos resíduos e respeitando o nível de atuação do programa, foram identificadas as possíveis ações de produção mais limpa.

A etapa 4 consistiu em avaliar técnica, econômica e ambientalmente as oportunidades estabelecidas na etapa anterior e definir quais as oportunidades viáveis. Por fim, o modelo de implementação do CNTL propõe uma quinta etapa, em que se finaliza o programa definindo o plano de implementação e monitoramento (traça estratégias para a implementação das ações) e o plano de continuidade, que visa garantir que o programa tenha continuidade. Essa etapa não foi contemplada no presente trabalho, uma vez que se pretendeu analisar, de forma preliminar, as potencialidades de implantação da P+L no salão de beleza em estudo.

O Salão de Beleza Bless Unisex oferece diversos serviços aos seus clientes. Contudo, somente três atividades são realizadas com frequência no local: serviço de manicure/pedicure; serviços de corte, hidratação, pintura e progressiva de cabelos; e serviço de design de sobrancelhas/epilação egípcia (com linha). Os demais, como depilação e massagem, são oferecidos somente sob demanda. Sendo assim, estes serviços não foram inclusos neste artigo por serem de difícil análise devido à limitação na sua ocorrência.

A fim de obter os dados quantitativos necessários à realização das etapas do programa de P+L, os insumos e resíduos sólidos foram estimados utilizando uma balança digital comum. No que se refere aos efluentes, foi estimada a vazão do lavatório e multiplicada pelo tempo médio de utilização da água para cada processo capilar, obtendo-se a vazão média de efluente gerado em cada processo.

Os demais líquidos utilizados como entrada de processos foram estimados utilizando recipientes de volume conhecido. No caso da energia elétrica, para estimar o consumo médio para cada atividade foi multiplicada a potência do equipamento pelo tempo médio de uso específico de cada atividade. A emissão de ruído foi obtida utilizando o *software* Decibelímetro Pro. A emissão de poeira não foi quantificada devido à falta de equipamentos técnicos específicos para este fim. Para fins de comparações posteriores à implementação do programa, foram calculados também o consumo médio mensal de água e energia elétrica e seu respectivo custo para a empresa, utilizando as faturas mensais dos últimos seis meses de funcionamento do salão de beleza.

O processo de caracterização dos aspectos e seus respectivos impactos ambientais foi realizado baseado no SGA (Sistema de Gestão Ambiental) UNISINOS, de acordo com as diretrizes da NBR ISO 14001, que propõe como critérios de avaliação a abrangência (abrangência espacial do impacto), severidade (gravidade da alteração causada pelo impacto e a capacidade de reversibilidade) e frequência (periodicidade de ocorrência em situação normal). Estes critérios oferecem pontuações de 1 a 4 cada um, que somadas entre si resultam na classificação do aspecto/impacto que varia entre desprezível (pontuação até 3), moderado (de 4 a 6) e crítico (7 a 12). Esta classificação determina também a prioridade de trabalho. O impacto crítico terá prioridade 1. Aquele que for classificado como moderado terá prioridade 2 e poderá ser tratado em segundo plano pela equipe.

Resultados e discussão

O primeiro contato com a empresa ocorreu no dia 04 de setembro de 2020, estando presentes a proprietária do salão de beleza e uma das pesquisadoras do projeto. No início da conversa, foi apresentado o objetivo do trabalho e os possíveis benefícios que ele traria para o empreendimento. Após, foi questionado à empreendedora quais aspectos gostaria de desenvolver ou melhorar nos procedimentos do seu estabelecimento, bem como no seu negócio como um todo. A resposta foi direta: a proprietária almeja diminuir custos com consumo de água e energia.

Ao ser questionada sobre uma provável adequação na geração e disposição de resíduos no salão de beleza, a responsável afirmou que já os separava corretamente. Porém, ao analisar as lixeiras do espaço, foi constatado o contrário. Os resíduos não se apresentaram separados, nem as lixeiras identificadas para que clientes/visitantes do local soubessem da separação. Sendo assim, foi possível observar uma certa relutância da proprietária a adequar a gestão dos resíduos do seu estabelecimento. Mesmo sabendo da provável resistência nesta questão, é incontestável a necessidade de separar corretamente estes materiais, visto que muitos deles são classificados até

como resíduos perigosos. De modo geral, a reunião pôde ser considerada proveitosa pois apesar do empasse quanto à gestão dos resíduos produzidos, a proprietária se apresentou empolgada com a possibilidade de redução dos custos do seu negócio.

Etapa 1

Na primeira reunião com a proprietária foi iniciada a sensibilização e definido o ecotime. Devido ao fato de o salão de beleza contar com poucas colaboradoras, a proprietária decidiu ficar como única responsável pelo projeto, além da equipe de pesquisa.

Em relação às barreiras à implementação do programa, o CNTL apresenta seis grupos principais de barreiras: conceituais, organizacionais, técnicas, econômicas, financeiras e políticas. As barreiras identificadas para implementação das ações sugeridas para o Salão Bless Unisex, em sua maioria, são caracterizadas por barreiras conceituais, financeiras e econômicas, por exemplo: resistência à mudança na segregação dos resíduos e resistência a investir nas ações propostas pelo programa.

Etapa 2

Conforme exposto anteriormente, os serviços prestados pelo salão de beleza analisados neste artigo são: coloração, corte, pintura e progressiva de cabelos; manicure/pedicure e design de sobrancelhas/epilação egípcia. Após análise dos serviços prestados foi possível estruturar os fluxogramas de cada um dos processos de acordo com as Figuras 1, 2 e 3. O fluxograma de processo permitiu que os serviços fossem analisados de forma detalhada, visando conhecer as etapas do processo que geram os resíduos e efluentes.

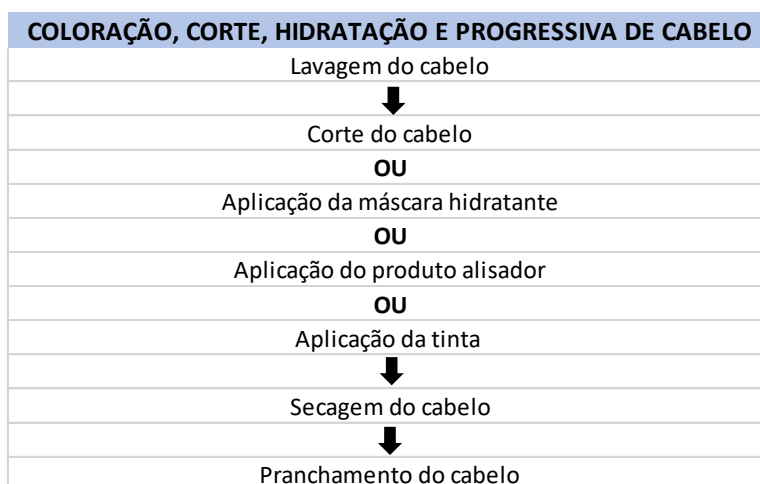


Figura 1: fluxograma dos processos capilares.

Nos processos capilares, é possível observar que a única mudança entre a coloração, hidratação e progressiva é o produto utilizado. Início e fim do processo se repetem com lavagem, eventual corte, secagem e pranchamento do cabelo.

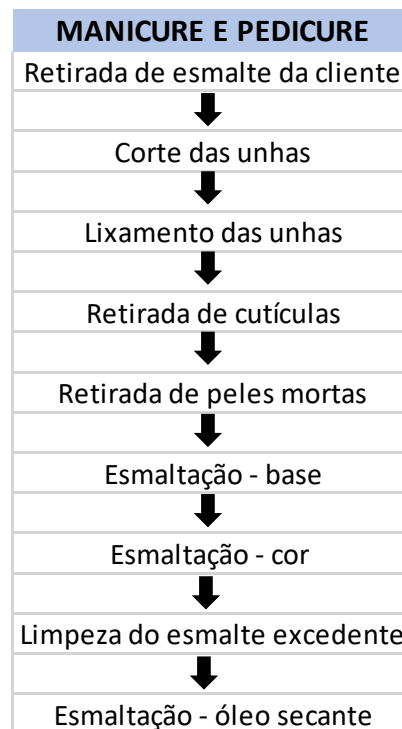


Figura 2: fluxograma do serviço de manicure/pedicure.

A Figura 2 apresenta o passo a passo do processo de manicure/pedicure. É possível observar as etapas de retirada de esmalte, um dos procedimentos impactantes do salão de beleza.

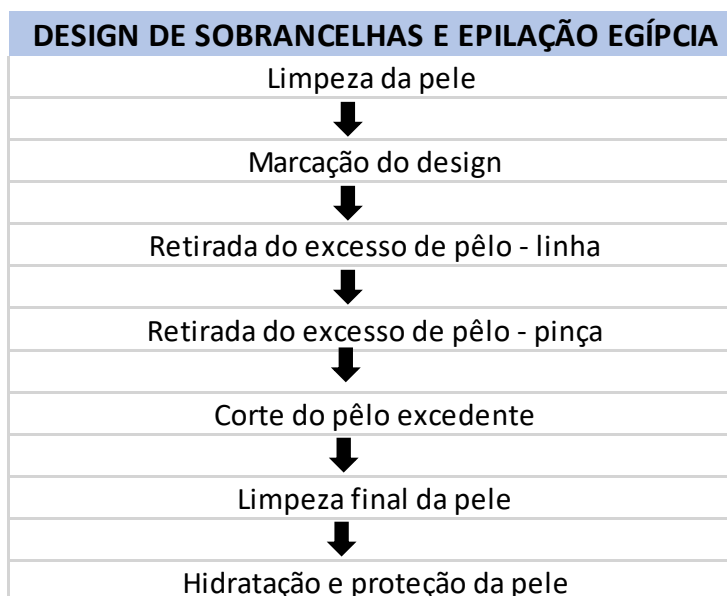


Figura 3: fluxograma dos serviços design de sobrancelhas e epilação egípcia.

Entre os serviços analisados, o design de sobrancelhas e epilação egípcia são os únicos que não utilizam substâncias perigosas. Porém, os resíduos comumente gerados nestes processos não permitem a reciclagem, o que os torna impactante de forma moderada, conforme será visto adiante. Caso ocorra sangramento na realização destes serviços, o algodão contaminado com sangue se torna resíduo perigoso e requer a correta segregação e consequente destinação.

A partir dos fluxogramas de processo, foram realizados os diagramas de bloco quantitativos de cada serviço, apresentados nas Figuras 4, 6 e 8. As Figuras 5, 7 e 9 apresentam o método de cálculo de cada dado quantitativo.

COLORAÇÃO, CORTE, HIDRATAÇÃO E PROGRESSIVA DE CABELO		
ENTRADAS	PROCESSO	SAÍDAS
		RESÍDUO SÓLIDO
		Restos de cabelo - 50g
		Embalagem de produto - 63g
		Luva/máscara descartável - 107,83g
		EFLUENTE LÍQUIDO
		Água + condicionador - 0,371l
Água - 1,015l		Água + máscara hidratante - 0,036l
Água oxigenada - 0,27l	Alisamento	Água + produto alisador - 0,075l
Condicionador - 289,4g	Coloração	Água + shampoo - 0,371l
Energia elétrica (prancha) - 0,09kWh	Corte	Água + tinta - 0,162l
Energia elétrica (secador) - 1,05kWh	Hidratação	
Luva descartável - 92g		EMISSIONES
Máscara descartável - 15,83g		Ruído do secador de cabelo - 77dB a 87dB*
Máscara hidratante - 10g		Vapor da prancha alisadora - N/D
Produto alisador - 0,11l		Vapor do secador de cabelo - N/D
Shampoo - 0,178l		PRODUTO
Tinta/tonalizante - 240g		Cabelo colorido, cortado, hidratado e progressivado

Figura 4: diagrama de bloco quantitativo dos processos capilares.

FORMAS DE MEDIÇÃO
ENTRADAS
Água: vazão do lavatório x tempo médio de lavagem/enxague
Água oxigenada: vide embalagem
Condicionador: vide embalagem
Energia elétrica: potência do aparelho x tempo médio de uso
Luva descartável: pesado em balança
Máscara descartável: pesado em balança
Máscara hidratante: vide embalagem
Produto alisador: vide embalagem
Shampoo: vide embalagem
Tinta/tonalizante: vide embalagem
SAÍDAS
Restos de cabelo: média de 3 cortes - pesado em balança
Embalagem de produto: pesado em balança
Luva/máscara descartável: pesado em balança
Água + condicionador: vazão do lavatório x tempo médio de enxague
Água + máscara hidratante: vazão do lavatório x tempo médio de enxague
Água + produto alisador: vazão do lavatório x tempo médio de enxague
Água + shampoo: vazão do lavatório x tempo médio de lavagem
Água + tinta: vazão do lavatório x tempo médio de enxague
Ruído do secador de cabelo: medido através <i>software</i>

Figura 5: forma de medição dos processos capilares.

MANICURE E PEDICURE		
ENTRADAS	PROCESSO	SAÍDAS
Água - 18,33l	Manicure e pedicure	RESÍDUO SÓLIDO
Algodão - 393g		Algodão + esmalte - 393,3g
Alicate - 48g		Embalagem de autoclave - 275g
Amolecedor de cutícula - 0,196l		Peles mortas - N/D
Bacia lavatória para pés - 191g		Sacos - 962g
Base para esmalte - 0,098l		Unhas cortadas - N/D
Cortador de unha - 20g		EFLUENTE LÍQUIDO
Embalagem do autoclave - 275g		Água do molho das unhas - 18,33l
Esmalte - 0,196l		EMISSIONES
Espátula para cutículas - 17g		Pó de unha - N/D
Lixa - 98,32g		PRODUTO
Óleo secante - 0,098		Unha lixada, cutilada e esmaltada
Removedor de esmalte - 0,05l		
Saco para bacia lavatória/mãos - 962g		

Figura 6: diagrama de bloco quantitativo serviço de manicure e pedicure.

FORMAS DE MEDIÇÃO
ENTRADAS
Água: copo de medida dosador (volume conhecido)
Algodão: pesado em balança
Alicate: pesado em balança
Amolecedor de cutícula: copo de medida dosador
Bacia lavatória para pés: pesado em balança
Base para esmalte: copo de medida dosador
Cortador de unha: pesado em balança
Embalagem de autoclave: pesado em balança
Esmalte: copo de medida dosador
Espátula para cutículas: pesado em balança
Lixa: pesado em balança
Óleo secante: copo de medida dosador
Removedor de esmalte: copo de medida dosador
Savo para bacia/mãos: pesado em balança
SAÍDAS
Algodão + esmalte: pesado em balança
Embalagem de autoclave: pesado em balança
Sacos: pesado em balança
Água do molho: copo de medida dosador

Figura 7: forma de medição do serviço de manicure e pedicure.

DESIGN DE SOBRANCELHAS E EPILAÇÃO EGÍPCIA		
ENTRADAS	PROCESSO	SAÍDAS
Álcool gel - 0,083l		RESÍDUO SÓLIDO
Algodão - 40g		Algodão + solução de limpeza + lápis - 48,84g
Hidratante - 0,055l		Linha + lápis dermatográfico - 0,314g
Lápis dermatográfico - N/D	Design de sobrancelha	Linha - 0,627g
Linha - 0,627g	Epilação egípcia	EMISSIONES
Pinça - 7g		Poeira (pêlos) - N/D
Pincel escova - 6g		PRODUTO
Solução de limpeza - 0,011l		Sobrancelha e epilação egípcia
Tesoura - 27g		

Figura 8: diagrama de bloco quantitativo do serviço de design de sobrancelhas e epilação egípcia.

FORMAS DE MEDIÇÃO
ENTRADAS
Álcool gel: copo de medida dosador
Algodão: pesado em balança
Hidratante: copo de medida dosador
Linha: pesado em balança
Pinça: pesado em balança
Pincel escova: pesado em balança
Solução de limpeza: copo de medida dosador
Tesoura: pesado em balança
SAÍDAS
Algodão + solução + lápis: pesado em balança
Linha + lápis dermatográfico: pesado em balança
Linha: pesado em balança

Figura 9: formas de medição do serviço de design de sobrancelhas e epilação egípcia.

Os valores de entradas e saídas obtidos nos diagramas representam a média de geração e consumo no período de um mês de funcionamento do salão e permitem evidenciar os resíduos majoritariamente gerados, possibilitando uma comparação posterior à implementação do programa.

A fim de encontrar o foco da avaliação do programa, foi realizada a planilha de aspectos e impactos ambientais dos serviços prestados pelo salão. As Figuras 10, 11 e 12 apresentam a planilha obtida.

ITEM	PROCESSO	ATIVIDADE	ASPECTO	IMPACTO	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO			
					ABRANGÊNCIA	SEVERIDADE	PROBABILIDADE	CLASSE
1	Design de sobrancelha epilação egípcia	Limpeza da pele (solução de limpeza + algodão)	Geração de resíduos sólidos	Alteração da qualidade da água e do solo	1	2	3	6
2	Design de sobrancelha depilação egípcia	Epilação (linha)	Geração de resíduos sólidos	Alteração da qualidade da água e do solo	1	2	3	6
3	Design de sobrancelha epilação egípcia	Design (lapis dermatográfico)	Geração de resíduos sólidos	Alteração da qualidade da água e do solo	1	1	2	4
4	Corte de Cabelo	Restos de cabelo	Geração de resíduos sólidos	Alteração da qualidade da água e do solo	1	2	3	6
5	Corte de Cabelo	Lavagem do cabelo	Consumo de energia	Esgotamento de Recurso	1	2	3	6
6	Corte de Cabelo	Lavagem do cabelo	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	1	2	3	6
7	Corte de Cabelo	Lavagem do cabelo (shampoo + condicionador)	Geração de efluentes hídricos	Alteração da qualidade da água e do solo	1	2	3	6
8	Corte de Cabelo	Uso de produto químico (shampoo + condicionador)	Consumo de recursos minerais	Alteração da qualidade da água, do ar e do solo	1	2	3	6
9	Corte de Cabelo	Secagem do cabelo	Consumo de energia	Esgotamento de Recurso	1	2	3	6
10	Corte de Cabelo	Secagem do cabelo (Ruído)	Emissão de ruído	Perturbação do conforto da comunidade	1	1	3	5

Figura 10: planilha de aspectos e impactos dos serviços de design de sobrancelhas/epilação egípcia e corte de cabelo.

Nos processos apresentados na figura acima a maior classificação obtida foi 6 que caracteriza um impacto moderado, ou seja, significativo, mas sem urgência na mitigação.

ITEM	PROCESSO	ATIVIDADE	ASPECTO	IMPACTO	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO			
					ABRANGÊNCIA	SEVERIDADE	PROBABILIDADE	CLASSE
11	Alisamento	Lavagem do cabelo	Consumo de energia	Esgotamento de Recurso	1	2	3	6
12	Alisamento	Lavagem do cabelo	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	1	2	3	6
13	Alisamento	Lavagem do cabelo (shampoo + condicionador)	Geração de efluentes hídricos	Alteração da qualidade da água e do solo	1	2	3	6
14	Alisamento	Uso de produto químico (alisador)	Consumo de recursos minerais	Alteração da qualidade da água, do ar e do solo	1	3	3	7
15	Alisamento	Vapor do processo de alisamento	Emissão de gases/vapores	Alteração da qualidade do ar	1	2	3	6
16	Alisamento	Vapor da prancha alisadora	Emissão de gases/vapores	Alteração da qualidade do ar	1	2	3	6
17	Alisamento	Ruído	Emissão de ruído	Perturbação do conforto da comunidade	1	1	3	5
18	Hidratação	Lavagem do cabelo	Geração de efluentes hídricos	Alteração da qualidade da água e do solo	1	2	3	6
19	Hidratação	Uso de produto químico (hidratante)	Consumo de recursos minerais	Alteração da qualidade da água, do ar e do solo	1	2	3	6
20	Hidratação	Lavagem do cabelo	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	1	2	3	6
21	Hidratação	Lavagem do cabelo	Consumo de energia	Esgotamento de Recurso	1	2	3	6

Figura 11: planilha de aspectos e impactos dos processos de hidratação e alisamento de cabelo.

No caso do processo de alisamento apresentado na Figura 11, obteve-se classificação 7 devido à utilização de produto com químico agressivo (formol). De acordo com a classificação, este é um

aspecto significativo crítico, devendo ser tratado com prioridade no programa de Produção Mais Limpa.

O serviço de manicure/pedicure também obteve aspectos significativos críticos nas atividades que envolvem descarte do resíduo algodão + acetona. São atividades que terão ênfase na mitigação também devido à periculosidade do resíduo, classificado pela ABNT NBR 10004:2004 como classe I – perigoso.

Etapas 3 e 4

Considerando a causa da geração dos resíduos apresentados nos diagramas de bloco, é possível realizar modificações em diversos níveis de atuação propostos pelo CNTL. O programa a ser implementado irá trabalhar no nível 1. De acordo com este nível, as ações propostas se baseiam em modificação dos produtos e nos processos através de boas práticas e substituição de matérias-primas. Para definir se uma ação é viável ou não de ser implementada, considerando aspectos econômicos e ambientais, é necessária uma avaliação crítica dos prós e contras de cada ação. Abaixo seguem as ações propostas e suas análises.

ITEM	PROCESSO	ATIVIDADE	ASPECTO	IMPACTO	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO			
					ABRANGÊNCIA	SEVERIDADE	PROBABILIDADE	CLASSE
22	Manicure/pedicure	Remoção de esmalte	Utilização de algodão com acetona	Redução da disponibilidade de recursos naturais	1	2	3	6
23	Manicure/pedicure	Remoção de esmalte	Geração de resíduos químico (algodão + acetona)	Alteração da qualidade da água e do solo	1	3	3	7
24	Manicure/pedicure	Remoção de esmalte	Geração de emissões atmosféricas (por compostos voláteis presente na acetona)	Alteração da qualidade do ar	1	2	3	6
25	Manicure/pedicure	Corte das unhas	Geração de resíduo biológico	Alteração da qualidade da água e do solo	1	1	3	3
26	Manicure/pedicure	Lixar as unhas	Utilização de insumos	Redução da disponibilidade de recursos naturais	1	1	3	3
27	Manicure/pedicure	Retirar instrumentos perfurocortantes da embalagem	Geração de resíduo sólido	Alteração da qualidade da água e do solo	1	2	3	6
28	Manicure/pedicure	Retirada de cutículas	Uso de amolecedor de cutículas	Redução da disponibilidade de recursos naturais	1	2	3	6
29	Manicure/pedicure	Retirada de cutículas	Utilização de materiais perfurocortantes (metal)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	1	2	3	6
30	Manicure/pedicure	Retirada de cutículas	Geração de efluente (água + amolecedor de cutículas)	Alteração da qualidade da água e do solo	1	1	3	5
31	Manicure/pedicure	Retirada de peles mortas	Utilização de materiais perfurocortantes	Redução da disponibilidade de recursos naturais	1	2	3	6
32	Manicure/pedicure	Retirada de peles mortas	Geração de resíduo biológico	Alteração da qualidade da água e do solo	1	2	3	6
33	Manicure/pedicure	Esmaltação (base e cor)	Geração de emissões atmosféricas (por compostos voláteis presente no esmalte)	Alteração da qualidade do ar	1	2	3	6
34	Manicure/pedicure	Limpeza do esmalte excedente	Geração de resíduo químico (algodão + acetona)	Alteração da qualidade da água e do solo	1	3	3	7
35	Manicure/pedicure	Limpeza do esmalte excedente	Geração de emissões atmosféricas (por compostos voláteis presente na acetona)	Alteração da qualidade do ar	1	2	3	6
36	Manicure/pedicure	Esmaltação (óleo secante)	Geração de emissões atmosféricas (por compostos voláteis presente no esmalte)	Alteração da qualidade do ar	1	2	3	6

Figura 12: planilha de aspectos e impactos do serviço de manicure e pedicure.

1. Padronização da quantidade de produto utilizado nos cabelos: considerando que não há a iniciativa dessa padronização pelos fabricantes e que os produtos são muito concentrados, gerando um grande desperdício, padronizar uma quantidade suficiente de utilização dos produtos para cada tamanho de cabelo é uma maneira de evitar o consumo exagerado desta matéria-prima e a geração de efluentes com alta carga química. Para isso, poderá ser realizada uma testagem de utilização, com dosadores/colheres de medidas e, ao final do teste, elaborar uma padronização para cada tipo de xampu, condicionador, máscara hidratante, produto alisador e tamanho de cabelo. É possível também, com informações do comprimento e volume do cabelo, encontrar a quantidade exata de produtos para cada cliente através de sites especializados, como o hairsite.com.br. Além de evitar a utilização exagerada de produtos químicos e a geração de efluentes, esta padronização gera um ganho econômico também, pois diminui o desperdício do produto, possibilitando mais lavagens/hidratações/alisamentos com a mesma quantidade que era utilizada antes do processo de padronização.

2. Instalação de redutores de vazão e arejadores: com essa ação é possível diminuir o desperdício de água potável utilizada nos lavatórios e torneiras em geral. De início requer certo custo de implementação, mas a longo prazo irá gerar ganho financeiro pela diminuição do consumo de água. A utilização de arejadores é mais indicada, pois não necessita de grandes mudanças nos sistemas: são instalados diretamente no bico das torneiras com a função de reter água e misturar o ar no jato, diminuindo o fluxo sem perder o “conforto”.

3. Reutilização da água do lavatório para limpeza do salão: geralmente são realizados de duas a três lavagens no cabelo para cada procedimento executado. A água do enxague pode ser utilizada como água de limpeza do salão, aumentando a vida útil do recurso e, conseqüentemente, deixando de consumir mais recurso para uma atividade que não requer potabilidade de água (atividade de limpeza). Para isso, a primeira água de enxágue do cabelo deve ser descartada, a segunda e a terceira podem ser armazenadas (por um curto período) e utilizadas na parte externa do salão.

4. Alteração no processo de molho dos pés: com a finalidade de amolecer cutículas e peles dos pés para posterior retirada, atualmente o salão utiliza uma bacia com água para o molho dos pés. Porém, para o amolecimento das mãos é utilizado creme, algodão e um jato spray de água. A sugestão é utilizar essa técnica também no molho dos pés, fazendo com que a utilização de água diminua e, conseqüente, a geração de efluente também.

5. Substituição de produtos químicos agressivos por produtos naturais: em muitos processos do salão de beleza, especificamente na área capilar, são utilizados produtos químicos com componentes prejudiciais ao meio e, principalmente, à saúde humana. Substituir esses produtos por outros que contêm em sua composição ingredientes naturais diminuirá a carga química do efluente gerado, possibilitando que o tratamento convencional contemple todos os contaminantes presentes no efluente, evitando a contaminação química do corpo receptor. A ferramenta Avaliação de Ciclo de Vida-ACV pode comprovar o benefício ambiental e para a saúde oriundo da substituição de produtos altamente perigosos, como o formol, utilizados nos processos capilares.

A viabilidade econômica foi avaliada com base nos custos mensais com produto para alisamento, e dos custos com a implementação de um novo produto sem formol. O salão Bless Unisex utiliza um produto de alisamento dentro dos padrões da ANVISA, com custo mensal de R\$237,50 por kit. Já os produtos sem formol custam em média R\$224,30 por kit, conforme pesquisas realizadas em sites de beleza. Com isto, pode-se evidenciar que a implementação de um novo produto sem formol diminui o custo para o salão em 5,5%, portanto esta troca é considerável viável economicamente, embora seja necessário avaliar a durabilidade do alisamento e a satisfação dos clientes em relação ao novo produto, apesar de os dois tipos de produto apresentaram uma durabilidade média de três a quatro meses segundo fabricante.

A viabilidade ambiental foi avaliada com base no impacto ambiental do produto alisador com formol e do produto sem formol. O produto com formol obteve classe 9 de impacto ambiental, considerado neste estudo como significativo. Já o produto alisador sem formol, foi classificado como 4, considerado não significativo. Esta classe se deu devido à redução no grau de severidade e probabilidade de ocorrência, uma vez que não há produtos químicos perigosos na composição destes produtos indicados para a substituição do kit utilizado atualmente no salão. Portanto, foi evidenciado que a troca do kit alisador é considerada ambientalmente viável também.

6. Adoção de kits individuais para cada cliente: diversos materiais utilizados nos serviços prestados são descartáveis ou necessitam de esterilização pós uso. Com o objetivo de diminuir a geração dos resíduos descartáveis (lixa de unha, pinça, escova para sobrancelhas, entre outros) e aumentar o intervalo de tempo entre uma autoclavagem e outra (diminuindo gasto com energia elétrica) é sugerida adoção de kits individuais para clientes. Cada cliente receberá um kit próprio que ficará de posse do salão de beleza, onde será feita a esterilização necessária, porém com menos frequência do que seria se todos os clientes utilizassem os mesmos materiais. O cliente que adotar esse kit individual receberá um desconto financeiro nos procedimentos, o que incentivará o cliente ao mesmo tempo que evitará custos devido à menor necessidade de esterilização dos materiais.

7. Adoção de materiais não-descartáveis pelas colaboradoras: assim como os materiais utilizados nos procedimentos, alguns objetos utilizados pelas colaboradoras também podem ser substituídos por outros não-descartáveis. É o caso de substituir máscaras descartáveis por máscaras de tecido (com eficácia comprovada pela pandemia atual) ou por máscaras de plástico, bem como substituir toucas de cabelo descartáveis pelas toucas de tecido. Essa sugestão constitui pequena mudança que pode evitar a geração de resíduos de uso único.

8. Parceria com recicladores locais: muitos resíduos gerados no salão de beleza são embalagens plásticas e de papel. Esses materiais possibilitam a reciclagem e atualmente são encaminhados para aterro sanitário. A proposta da parceria com recicladores locais e/ou cooperativas visa dar um melhor destino a estes materiais, evitando a ocupação de aterro sanitários por materiais com potencial de reciclagem. Esta ação pode ser definida também como uma simbiose industrial, pois a empresa pode se beneficiar por um marketing ambiental e os recicladores receberão um material segregado e de qualidade para posterior comercialização. Sendo assim, o salão realizaria a segregação dos resíduos diretamente na fonte, armazenaria eles em um local adequado e, mediante acordo prévio, o reciclador e/ou cooperativa passaria para recolher os materiais.

Para que seja possível avaliar a evolução dos aspectos e impactos ambientais referentes aos serviços prestados no salão serão utilizados indicadores ambientais. Estes indicadores serão responsáveis por analisar o que foi solicitado pela proprietária do estabelecimento (diminuição de gastos com água e luz) e para avaliar os aspectos que recebem grau de risco significativo na avaliação de aspecto e impacto ambiental (geração de resíduos e efluentes com características perigosas provenientes do processo de alisamento de cabelo e remoção de esmaltes). A Figura 13 apresenta os aspectos e seus indicadores ambientais, uma estimativa de valores baseada nos diagramas de bloco e nas contas de água e luz fornecidas pela proprietária e, por fim, uma meta a ser alcançada pelo salão. Essa meta considera uma diminuição de 10% nos aspectos abrangidos pelos indicadores. A avaliação do atendimento a estes indicadores deverá ser realizada mensalmente, sendo que o empreendimento deve atingir números abaixo da estimativa para que o indicador possa ser considerado como atendido.

ASPECTO	INDICADOR	ESTIMATIVA	META
Consumo de água	Volume de água consumido	1500 litros/mês	1350 litros/mês
Consumo de energia elétrica	Quantidade de energia utilizada	1,14 kWh/mês	1,03 kWh/mês
Geração de resíduo perigoso	Quantidade de resíduo gerado	500 g/mês	450 g/mês
Geração de efluente químico	Quantidade de efluente emitido	75 litros/mês	67,5 litros/mês

Figura 13: Indicadores ambientais.

Com as informações apresentadas na figura acima é possível avaliar a evolução dos aspectos após a implantação das ações e melhorias propostas neste projeto. Importante se faz que este tipo de avaliação seja realizado com frequência mensal para que se tenha noção dos avanços ou retrocessos naquilo que impacta tanto financeiramente quanto ambientalmente a empresa.

Diante do levantamento realizado, o Salão de Beleza Bless Unissex possui as informações básicas para implementar um programa de P+L na sua unidade. Assim, o modelo desenvolvido por CNTL (2003) pode ser continuado pelo estabelecimento, ao realizar um Plano de Implementação, Continuidade e Monitoramento, conforme destaca a Etapa 5 do modelo.

Considerações finais

A Produção Mais Limpa é uma ferramenta eficiente quando se busca a redução de impactos ambientais negativos em um processo ou serviço. É realizada por meio da avaliação de entradas e saídas dos processos produtivos e dos seus respectivos aspectos e impactos ambientais. Este programa foi desenvolvido para o Salão de Beleza Bless Unissex, localizado no município de Osório/RS. O empreendimento não possuía nenhum controle ambiental, considerado uma das barreiras na implementação do projeto, por este motivo buscou-se ações e alternativas de fácil aplicação e baixo custo, a fim de incentivar a implementação do Programa por parte da empresa.

A partir da análise de entradas e saídas dos processos em questão, foi possível levantar 8 ações para mitigar os impactos ambientais negativos, ações estas que geram ganhos nos três pilares da sustentabilidade: ambiental, social e econômico. O impacto com maior significância foi o uso do produto alisador com formol na sua formulação, e para a mitigação foi proposto a sua substituição por um produto de menor impacto ambiental. Foi comprovado sua viabilidade ambiental e econômica, com uma redução de 5,5% do custo mensal deste produto e uma redução na significância de classe 9 para 4 na avaliação de impacto ambiental. A empresa vem implementando, de forma

gradativa, algumas das ações sugeridas, como a adoção de kits individuais para cada cliente e a substituição de materiais descartáveis utilizados pelas colaboradoras por materiais de uso contínuo. Além das ações corretivas, foram propostos indicadores ambientais para o monitoramento da eficácia destas, sendo eles: consumo de água, consumo de energia, geração de efluente químico (com produto alisador) e geração de resíduo perigoso (com acetona).

Diante do exposto, é possível comprovar a eficácia do Programa de Produção Mais Limpa no modelo CNTL, pois permitiu uma análise qualitativa e quantitativa de todos os processos do salão de beleza Bless Unisex, possibilitando a proposição de ações e práticas mais sustentáveis para este tipo de empreendimento. Além disto, foi verificado que a falta de legislações específicas para salões de beleza dificulta a implementação de ações e programas ambientais, evidenciando a urgência de repensar a legislação ambiental deste ramo de atividades.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e ao CNPq pela bolsa DT2 de um de seus autores, e pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR ISO 14001: sistemas da gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

CNTL-SENAI/RS. 2003. Implementação de Programas de Produção Mais Limpa. Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/ UNIDO/INEP, Porto Alegre/RS.

FONSECA, R. A., et. al. Produção Mais Limpa: uma nova estratégia de produção. X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2013. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/39018395.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2020.

METAXAS, Hiuri Martorelli; PINTO, Nathália Carolina S. M. S. Projeto de regularização ambiental do salão de beleza social – Unidade Caiçara, Belo Horizonte/MG. 2015.