

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS LITORAL NORTE
DEPARTAMENTO INTERDISCIPLINAR
ENGENHARIA DE GESTÃO DE ENERGIA

DJULYEN DE JESUS ASSONALIO

**BIODIGESTORES PARA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA
EM ESCOLAS DE EDUCAÇÃO INFANTIL: UM ESTUDO DE
CASO EM IMBÉ/RS**

Tramandaí

2024

DJULYEN DE JESUS ASSONALIO

**BIODIGESTORES PARA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA
EM ESCOLAS DE EDUCAÇÃO INFANTIL: UM ESTUDO DE
CASO EM IMBÉ/RS**

Este trabalho foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da atividade de ensino “Trabalho de Conclusão de Curso”, do Departamento Interdisciplinar e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Profa. Dra. Gabriela Pereira da Silva Maciel, UFRGS.
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Dilcemara Cristina Zenatti, UFPR.

Doutora pela Universidade Federal do Paraná – Curitiba, Brasil.

Profa. Dra. Aline Cristiane Pan, UFRGS.

Doutora pela Universidade Politécnica de Madri - Madri, Espanha.

Profa. Dra. Juliana Klas, UFRGS.

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil.

**Coordenador COMGRAD-EGE
Prof. Dr. Daniel da Silva Gazzana**

Biodigestores Para Sustentabilidade Energética Em Escolas De Educação Infantil: Um Estudo De Caso Em Imbé/Rs

Djulyen de Jesus Assonalio¹ – djulyenjesusassonalio@hotmail.com
Gabriela Pereira da Silva Maciel¹ – gabriela.pereira@ufrgs.br

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento Interdisciplinar – Engenharia de Gestão de Energia.

RESUMO. O presente estudo avaliou a viabilidade da implementação de biodigestores em escolas de educação infantil no município de Imbé/RS, visando o aproveitamento energético, a gestão sustentável de resíduos e a promoção da educação ambiental. No desenvolvimento do trabalho foram investigados a quantidade de resíduos alimentares (RAL) gerados nas escolas e o potencial de substituição do gás liquefeito de petróleo (GLP) por biogás produzido localmente. A pesquisa envolveu a coleta de dados através de questionários, pesagem de resíduos, análise do potencial de substituição de GLP por biogás e estudo de viabilidade econômica da implementação de biodigestores. A viabilidade econômica foi realizada através de parâmetros como: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback. Os resultados indicam que a implementação de biodigestores em quatro escolas de educação infantil pode reduzir em aproximadamente R\$ 17.000,00 por ano dos custos operacionais das escolas para o município a partir do 4º (quarto) ano, além de reduzir 3 ton de CO₂ eq/ano. Portanto, a adoção de biodigestores nas escolas de educação infantil de Imbé/RS tem viabilidade econômica e ambiental, contribuindo para um futuro mais sustentável e educando as futuras gerações sobre a importância da gestão adequada de resíduos e o uso de energias renováveis.

Palavras-chave: Resíduos Alimentares, Biogás, Educação Ambiental.

ABSTRACT. This study evaluated the feasibility of implementing biodigesters in early childhood education schools in the municipality of Imbé/RS, focusing on energy utilization, sustainable waste management, and the promotion of environmental education. The study investigated the amount of organic waste generated in schools and the potential for replacing liquefied petroleum gas (LPG) with locally produced biogas. The research involved data collection through questionnaires, waste weighing, analysis of the potential for replacing LPG with biogas, and an economic feasibility study of biodigester implementation. The economic viability was assessed using parameters such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback. The results indicate that implementing biodigesters in four early childhood education schools could reduce operational costs by approximately R\$ 17,000.00 per year for the municipality starting from the 4th year, in addition to reducing 3 tons of CO₂ eq/year. Therefore, the adoption of biodigesters in the early childhood education schools of Imbé/RS is economically and environmentally feasible, contributing to a more sustainable future and educating future generations on the importance of proper waste management and the use of renewable energy.

Keywords: Food Waste, Biogas, Environmental Education.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), cerca de 50% do resíduo sólido urbano (RSU) do Brasil é composto por resíduos orgânicos (RO). Esse volume é preocupante quando se considera o destino desses resíduos, pois menos de 2% desse total são tratados de forma descentralizada, por meio de compostagem, por exemplo (EMBRAPA, 2021).

A Lei n° 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu Artigo 3º, ressalta que a destinação final adequada para os resíduos é aquela que integra a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético. Também se refere às normas operacionais específicas de classificação e distribuição de forma adequada dos rejeitos em aterros sanitários (BRASIL, 2010).

Nos aterros sanitários, os RO são recebidos misturados com outros tipos de resíduos e não passam por um processo de separação adequada, o que diminui a eficiência para o aproveitamento energético do biogás gerado na decomposição da matéria orgânica (LANDIM; AZEVEDO, 2008, p. 26). O biogás é composto principalmente, entre 50 % e 70%, por metano (CH₄) (gás combustível) e dióxido de carbono (CO₂), além de pequenas quantidades de outros gases, como sulfeto de hidrogênio (H₂S), nitrogênio (N₂) e traços de vapor de água (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2011).

No Brasil, alguns aterros sanitários captam o biogás gerado e realizam a queima em *flares* (equipamento onde é mantida acesa uma chama para queima imediata do biogás que vai sendo drenado), liberando CO₂ para o meio ambiente e desperdiçando o potencial energético do biogás. Entretanto, esse não é o pior cenário, considerando que muitos aterros

ainda não fazem a captação e a queima do biogás, liberando-o diretamente para a atmosfera, o que resulta em grandes emissões de gás metano, gás 21 vezes mais poluente que o CO₂, um dos principais gases causadores do efeito estufa (ASSONALIO et al., 2021).

O Brasil possui um grande potencial de produção de biogás dos resíduos, que não é aproveitado (CORRÊA; BERHORST, 2024). O uso de biogás oriundo de RO permite o aumento da geração de energia renovável, pois aproveita resíduos que seriam desperdiçados e que contribuem para as emissões de metano, transformando-os em uma fonte energética capaz de substituir/minimizar o uso de combustíveis de origem fóssil (ABIOGÁS, 2022).

Uma alternativa que apresenta um caminho promissor de aproveitamento energético e tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, de forma descentralizada, é a utilização de biodigestores em escala doméstica em ambiente urbano. Os biodigestores são sistemas que convertem RO em biogás e digestato (biofertilizante) através do processo de digestão anaeróbica (BALMANT, 2009). A decomposição da matéria orgânica é acelerada nos biodigestores, visto que o volume de biogás gerado em um período de 18 dias no biodigestor, é equivalente à metade do que seria gerado em um aterro sanitário ao longo de 80 anos, considerando a mesma quantidade de resíduos a serem tratados (EPE, 2014).

Desta forma, a utilização de biodigestor para produção de biogás a partir do aproveitamento energético e tratamento dos RO de modo descentralizado, é um modo de envolver os alunos e as comunidades ao entorno da escola na gestão dos seus próprios resíduos, incentivando a ocorrência de fenômenos sociológicos como efeito vizinhança (MATTOS, 2017). Quando instalados em escolas, esses dispositivos oferecem uma oportunidade valiosa para transformar o ambiente educacional em um espaço de aprendizado prático e engajamento dos alunos com soluções sustentáveis (CARTAXO et al., 2020).

A implementação de biodigestores em escolas é uma prática inovadora e altamente benéfica que visa não apenas promover a sustentabilidade ambiental, mas também educar e conscientizar a comunidade escolar sobre questões relacionadas à gestão de resíduos, ao meio ambiente e à geração de energia renovável. Além disso, o biogás gerado pode ser utilizado nas escolas como substituto ao gás liquefeito de petróleo (GLP) nas cozinhas, no aquecimento de água e até mesmo para gerar eletricidade, também o processo de digestão anaeróbica produz biofertilizante que pode ser utilizado nas hortas escolares (outra prática socioambiental), contribuindo assim para a redução dos custos operacionais das organizações e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade da implementação de biodigestores em escolas de educação infantil no município de Imbé/RS, com destaque para seu potencial energético na substituição de botijões de GLP utilizados no preparo de merendas. Desta forma, buscou-se avaliar a quantidade de resíduos alimentares gerados nas escolas, estimar o potencial de produção de biogás, analisar a viabilidade econômica da implementação, investigar o impacto ambiental da adoção dos biodigestores e incentivar a promoção da educação ambiental entre alunos e a comunidade. A implementação dos biodigestores visa promover a gestão sustentável e o aproveitamento energético dos resíduos alimentares, além de fomentar a educação ambiental e contribuir para um futuro mais sustentável.

2. Gestão Sustentável dos Resíduos Orgânicos

Os RO, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), são formados principalmente por restos de animais ou vegetais descartados durante atividades humanas. Eles podem ter diferentes origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos da agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos), e de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgoto), entre outras. Os RO se degradam espontaneamente e reciclam os nutrientes em ambientes naturais equilibrados. Mas, quando gerados em ambientes urbanos, podem causar sérios problemas ambientais se forem dispostos de forma inadequada. A disposição inadequada de RO gera chorume, emissão de metano na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças. Portanto, a adoção de métodos adequados de gestão e tratamento destes resíduos torna-se necessária (MMA, 2017).

A destinação inadequada dos RO é um grande problema que deve ser enfrentado pela sociedade brasileira, pois existe um enorme potencial de aproveitamento energético pouco explorado, o que resulta em energia jogada no lixo (SOARES et al., 2017).

A PNRS estabelece que podem ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental. Valorar os RO pode contribuir para solucionar questões ambientais sérias, como a degradação do solo, erosão e alterações climáticas, além de reduzir a quantidade significativa desses resíduos enviados aos aterros sanitários (BRASIL, 2010).

Uma forma alternativa e eficaz de gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é a recuperação de energia. Estudos indicam que essa abordagem é economicamente viável e sustentável (SOUZA et al., 2019; SOARES et al., 2017). É possível recuperar várias formas de energia, como calor, eletricidade e combustível, a partir do RSU. O aproveitamento energético do RSU é uma solução ambientalmente adequada para o tratamento de resíduos, além de representar uma oportunidade de negócios. No entanto, é essencial utilizar rotas tecnológicas apropriadas e realizar uma análise detalhada dos riscos associados à implementação (ASSONALIO et al., 2021).

As escolas são grandes geradoras de resíduos alimentares, isso porque estes são gerados nas preparações e nas sobras das merendas. O aproveitamento energético de RAL de escolas representa uma oportunidade significativa para promover a sustentabilidade e reduzir o impacto ambiental das instituições educacionais. Com a instalação de biodigestores nas escolas, os RAL, como restos de alimentos das cozinhas e cantinas, podem ser tratados de forma descentralizada e transformados em biogás por meio de processos anaeróbicos (na ausência de oxigênio). Esse biogás pode ser utilizado

com fonte de energia renovável para diversas finalidades dentro do ambiente escolar, como o aquecimento de água, a cocção de alimentos nas cozinhas e até mesmo a geração de eletricidade (HOMEBIOGAS, 2024).

O tratamento dos resíduos alimentares de forma descentralizada, além de reduzir os custos com transporte e disposição final em aterro sanitário, contribui para a redução das emissões de CO₂ relacionadas ao transporte até a destinação final e liberação de metano da decomposição anaeróbica desses resíduos nos aterros sanitários. Ao mesmo tempo, essa prática proporciona uma valiosa oportunidade de educação ambiental para os estudantes, que podem aprender sobre os princípios da sustentabilidade, energia renovável e gestão de resíduos de maneira prática e tangível, dentro do próprio ambiente escolar (BRASIL, 2023).

2.1 Educação Ambiental

A educação ambiental desempenha um papel fundamental na conscientização e na promoção de comportamentos sustentáveis para preservar e proteger o planeta. Por meio da educação ambiental, as pessoas são capacitadas para entender a relação entre os seres humanos e o meio ambiente, reconhecendo a importância de conservar os recursos naturais, proteger a biodiversidade e adotar práticas sustentáveis em suas vidas diariamente. Além disso, a educação ambiental promove a reflexão crítica sobre questões ambientais globais, incentivando a busca por soluções inovadoras e colaborativas para enfrentar os desafios ambientais atuais (SANTOS; CÂNDIDO, 2022).

Ao integrar a educação ambiental em todos os níveis de ensino e em diversas esferas da sociedade, é possível criar uma geração de cidadãos conscientes, responsáveis e comprometidos com a construção de um futuro mais sustentável para todos. Ao oferecer experiências práticas, como uso de biodigestores, os programas de educação ambiental capacitam os indivíduos a se tornarem agentes de mudança em suas comunidades (SILVA, 2021).

2.1.1 Biodigestores como ferramenta de educação ambiental

A utilização de biodigestores é uma forma eficaz de gerenciar os resíduos alimentares, reduzir a poluição ambiental e produzir energia renovável. Os biodigestores são amplamente utilizados em fazendas, instalações de tratamento de águas residuais, indústrias alimentícias e comunidades rurais (LAMPERT, 2021). No entanto, ainda não é comum o uso de biodigestores no meio urbano, embora haja alguns modelos comerciais tais como o HomeBiogas instalados em residências e escolas (HOMEBIOGAS, 2024).

O uso de biodigestores em escolas pode oferecer uma oportunidade valiosa para educar os alunos sobre sustentabilidade, gestão de resíduos e energia renovável, ao mesmo tempo em que proporciona benefícios práticos para a própria escola e sua comunidade (CARTAXO et al., 2020). Conforme cita o Manual Para Gestão de Resíduos Orgânicos nas Escolas torna-se necessário:

Ressaltar a importância do papel que as escolas desempenham tanto como agentes educadores que sensibilizam as futuras gerações em temas fundamentais para a sociedade, como unidades geradoras de resíduos sólidos – e demonstrar o potencial que possuem na redução do desperdício e das emissões de gases de efeito estufa por meio de ações de separação, reutilização e reciclagem dos resíduos orgânicos. (RICCI-JÜRGENSEN, 2016)

Portanto, a implementação de biodigestores nas escolas é de extrema importância tanto no que diz respeito ao aproveitamento sustentável, onde se tem resíduos sendo transformados em ativos energéticos, quanto na educação das crianças.

2.2 Biodigestores para a geração de energia renovável

Biodigestores são estruturas ou sistemas utilizados para realizar o processo de digestão anaeróbica, que é a decomposição de matéria orgânica por microrganismos na ausência de oxigênio. O processo é realizado por diferentes grupos de microrganismos e tem como produtos o biogás e o digestato (biofertilizante). Alguns sistemas de biodigestão podem ser projetados para maximizar a produção de biogás (BRASIL, 2023).

O biogás é um gás combustível composto principalmente por metano (CH₄) (entre 50 % e 70 %: o percentual específico de metano pode variar dependendo da composição dos RO e das condições e tecnologias utilizadas no processo de digestão anaeróbica) e dióxido de carbono (CO₂), além de pequenas quantidades de outros gases, como sulfeto de hidrogênio (H₂S), nitrogênio (N₂) e traços de vapor de água (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2011).

A matéria orgânica utilizada para a produção de biogás pode ser proveniente de diversos tipos de resíduos, como esterco animal, resíduos agrícolas, resíduos de alimentos, resíduos industriais e lodo de esgoto. A composição e a quantidade de energia presente no biogás podem variar dependendo do tipo de material orgânico e do processo utilizado em sua produção. A produção de biogás é uma forma de aproveitamento energético de RO e contribui para a redução da poluição ambiental e para a produção de energia renovável (ZANETTE, 2009).

O biogás pode ser utilizado para diversos fins, incluindo a geração de eletricidade e calor, como combustível veicular, com a produção de biometano, que é o biogás purificado com teor elevado de metano (maior que 96 %), o qual pode ser injetado diretamente na rede de gás natural (PASCHOETO, et al. 2017). Nas escolas o biogás pode ser utilizado

como substituto ao gás liquefeito de petróleo (GLP) nas cozinhas, no aquecimento de água e até mesmo para gerar eletricidade, também o processo de digestão anaeróbica produz biofertilizante que pode ser utilizado nas hortas escolares, contribuindo, assim, para a redução dos custos operacionais das organizações e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (HOMEBIOGAS, 2024).

2.3 Biodigestores para a Mitigação das Emissões de CO₂

A busca por novas fontes de energia, juntamente com a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases poluentes, tem direcionado cada vez mais pesquisas para a utilização de recursos renováveis. Neste contexto, os RO se destacam por seu alto teor de carbono. Quando combinados com água e oxigênio do ar, esses resíduos produzem dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), que são os principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor de resíduos sólidos urbanos (OICS, 2024).

A gestão inadequada desses resíduos em aterros sanitários resulta na liberação de gases poluentes, agravando o efeito estufa. No entanto, ao serem retirados da massa total de resíduos destinados a aterros e tratados em biodigestores anaeróbios, é possível conter essas emissões.

Além de contribuir significativamente para a redução das emissões de GEE pelo tratamento dos RO de forma descentralizada, o biogás gerado ao ser utilizado como substituto aos combustíveis de origem fóssil na produção de eletricidade, calor ou como combustível veicular, proporciona uma solução energeticamente eficiente e ambientalmente correta, com a diminuição do uso de combustíveis fósseis e redução das emissões causadas pela queima desses combustíveis. Esta abordagem não só mitiga os impactos ambientais, mas também oferece uma oportunidade econômica viável, promovendo a sustentabilidade no gerenciamento de resíduos urbanos (SOARES et al., 2022). Ademais, a redução das emissões através da utilização de biogás pode gerar créditos de carbono, que podem ser comercializados no mercado de carbono, oferecendo uma fonte adicional de receita, ao mesmo tempo em que contribui para as metas globais de mitigação das mudanças climáticas (ANGONESE, et al. 2007).

2.4 Vantagens do uso de Biodigestores nas Escolas

A seguir são listadas algumas vantagens da utilização de biodigestores nas escolas (AMARAL, et al. 2019):

- **Geração de Biogás:** Os biodigestores podem ser usados para processar os RAL da cozinha e refeitório da escola, como restos de comida e cascas de frutas e vegetais, para produzir biogás. Esse biogás pode ser utilizado em substituição ao gás liquefeito de petróleo, para cozinhar os alimentos ofertados nas instalações da escola, reduzindo os custos de energia.

- **Produção de Fertilizantes:** Os resíduos resultantes do processo de biodigestão, conhecidos como digestato, são ricos em nutrientes. Esse material pode ser usado como fertilizante orgânico para os jardins e hortas da escola, promovendo a agricultura sustentável.

- **Aprendizado Interdisciplinar:** O uso de biodigestores pode ser incorporado ao currículo escolar de várias disciplinas, incluindo ciências, matemática, geografia e estudos ambientais. Os alunos podem estudar os processos biológicos envolvidos na digestão anaeróbica, calcular a produção de biogás, analisar os impactos ambientais e econômicos etc.

- **Contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS):** O biodigestor é uma estratégia que possui relação ao menos com 8 objetivos do desenvolvimento sustentável, como por exemplo, ODS- 4: Educação de qualidade, ODS-5: Igualdade de Gênero, ODS-6: Água potável e saneamento, ODS-7: Energia limpa e acessível, ODS-9: Indústria, inovação e infraestrutura, ODS-11: Cidades e comunidades sustentáveis, ODS-12: Consumo e produção responsáveis e ODS-13: Ação contra a mudança global do clima.

- **Envolvimento da Comunidade:** O estabelecimento de um biodigestor na escola pode ser um projeto colaborativo que envolve alunos, professores, funcionários e até mesmo pais ou membros da comunidade. Isso pode promover um senso de responsabilidade ambiental e comunitária, além de proporcionar uma oportunidade para a escola se conectar com outras instituições locais e compartilhar conhecimentos e recursos.

Em resumo, os biodigestores podem ser uma ferramenta educacional poderosa e prática nas escolas, promovendo a conscientização ambiental e capacitando os alunos para serem agentes de mudança em suas comunidades.

3. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho foi segmentada da seguinte forma: delimitação da área de pesquisa e seleção das escolas, diagnóstico da situação atual da gestão de resíduos alimentares nas escolas e avaliação do potencial de implementação de biodigestores.

3.1 Área do Estudo

A pesquisa foi realizada em quatro escolas de educação infantil localizadas no município de Imbé. O município de Imbé está localizado no litoral norte do Rio Grande do Sul, suas coordenadas geográficas aproximadas são 29°58' sul de latitude e 50°07' oeste de longitude, possui 26.824 habitantes, uma área de 39.766km² e 15km de extensão (IBGE, 2022).

Ressalta-se que o município de Imbé/RS, assim como a maioria dos municípios do Litoral Norte do RS, não possui aterro sanitário local e os resíduos coletados são enviados para uma central de transbordo alocada no município de Tramandaí e posteriormente os resíduos são transportados para o aterro sanitário em Minas do Leão (distante a mais de 206 km) para a disposição final. Tal rota necessita de caminhões, tanto para a coleta do RSU quanto para levá-lo para Minas do Leão, o que acarreta emissões de CO₂ e grandes custos para a prefeitura com transporte e disposição final.

Oito escolas de educação infantil do município foram sugeridas pela Secretaria Municipal de Educação como prioritárias para a realização da pesquisa, visto que são locais com maior oferta de refeições, possuem hortas escolares e espaço para a instalação de biodigestores. A rede de ensino municipal de Imbé conta com 8 escolas de educação infantil e 9 escolas de ensino fundamental que podem ser beneficiadas com a presente pesquisa.

O primeiro contato foi realizado diretamente com a Secretária de Educação do município via telefone e foi agendada uma reunião para apresentar o escopo da pesquisa e verificar o interesse de participação das diretoras das escolas de educação infantil. A reunião foi realizada nas dependências da Secretaria de Educação e contou com a presença de 9 diretoras das escolas, a secretaria de educação, a orientadora e a aluna responsável pela pesquisa. Considerando-se a necessidade de trocas de informações mais rápidas foi criado um grupo de *WhatsApp* com as participantes da reunião para dar seguimento ao estudo.

3.2 Diagnóstico da situação atual da gestão de resíduos alimentares nas escolas

3.2.1 Caracterização das escolas

A coleta de dados primários ocorreu através de questionário (*Google Forms*) semiestruturado com perguntas abertas e fechadas, o qual o link foi enviado por e-mail para as diretoras das escolas. O modelo de questionário se encontra no Apêndice I. As escolas que participaram do estudo foram: Escola A - Tia Marica, Escola B - Peixinho Dourado, Escola C - Vó Rosa e Escola D - Vó Jovino, tais escolas possuem 228, 145, 201 e 96 alunos, respectivamente. As respostas foram compiladas no *Google Forms* para posterior análise e discussões.

3.2.2 Pesagem dos resíduos

A pesagem correta dos RAL nas escolas é de extrema importância para que os dados fornecidos sejam confiáveis, no entanto, é relevante mencionar que existem fatores organizacionais que influenciam fortemente nas quantidades levantadas, tais como a disponibilidade de pessoal para pesagem e engajamento com a pesquisa. Para facilitar o controle da pesagem dos resíduos foram definidos alguns critérios:

- **Identificação das áreas de geração de resíduos:** determinou-se as áreas dentro da escola em que os RAL são gerados. Somente os RAL da cozinha e do refeitório foram considerados no estudo.

- **Definição da frequência da pesagem:** pesagem diária no turno da manhã e no turno da tarde (2 pesagens dos resíduos ao dia).

- **Registro da quantidade de resíduos:** foi designada uma cozinheira responsável em cada escola para registrar a quantidade de RAL gerados, através de uma planilha onde as massas (em kg) foram registradas. O modelo de planilha é apresentado no Apêndice II.

- **Pesagem dos resíduos:** os resíduos foram pesados em uma balança apropriada para este fim, nas cozinhas de cada escola.

Afim de fornecer uma maior compreensão sobre a relevância ambiental dos biodigestores, bem como explicar quais itens deveriam ou não ser pesados e quais poderiam ou não ser colocados nos biodigestores (no caso da implementação), foram realizadas visitas em todas as escolas consideradas no estudo, explicando diretamente para as merendeiras como deveria ser feita a pesagem.

As pesagens foram realizadas nos dias de funcionamento das escolas (dias letivos). Para maior abrangência do estudo e análise estatística dos dados, as pesagens foram realizadas diariamente ao longo dos meses de novembro de 2023 a abril de 2024, assim totalizando 6 meses de coleta de dados. O procedimento de pesagem dos RAL ocorreu manualmente. Para isso, utilizou-se as balanças existentes nas escolas. Para a obtenção da massa final, foi necessário tarar a balança, descontando a massa do recipiente utilizado para armazenar os sacos com os RAL da cozinha e do refeitório.

3.3 Avaliação do potencial de implementação de biodigestores

3.3.1 Escolha do biodigestor

Partindo do princípio de que o biodigestor é o elemento principal de todo projeto de tratamento de resíduos para a produção de energia (biogás) e biofertilizante (digestato), é fundamental garantir o bom desempenho desta etapa para que os objetivos estabelecidos pelo projeto sejam alcançados. Diante disso, vários requisitos relacionados, principalmente, com o planejamento e o dimensionamento do biodigestor que compõem o projeto devem ser considerados.

Existem diferentes tipos de biodigestores disponíveis no mercado para compra, e ainda diversos modelos conhecidos e estudados, possíveis de serem construídos (CALZA, et al. 2015). No entanto, para este trabalho, optou-se por utilizar os biodigestores da HomeBiogas para fazer as simulações necessárias para viabilidade de implementação, devido a facilidade de manuseio para diferentes perfis de usuários e pelo grande número de biodigestores da HomeBiogas instalados em escolas brasileiras. A HomeBiogas é uma empresa que produz sistemas domésticos de biodigestores, com sede em Israel, mas com presença global. Os biodigestores são distribuídos no Brasil pela empresa BioMovement desde 2018. A Pedra Viva Aquicultura é uma empresa parceira da BioMovement e representa a empresa no Rio Grande do Sul.

Dois modelos foram escolhidos para calcular a viabilidade da implementação, de acordo com a necessidade de cada escola, o Homebiogas 2.0 e o 7.0, que comportam 4 e 10 quilos de resíduos diários, respectivamente. As especificações técnicas dos dois modelos podem ser vistas no Anexo I.

No biodigestor da HomeBiogas, os RAL são decompostos por bactérias na ausência de oxigênio, resultando na produção de biogás, que é armazenado em um reservatório com um mecanismo patenteado de baixa pressão, e um efluente orgânico líquido, que substitui fertilizantes minerais tradicionais feitos a partir de componentes não renováveis. Os biodigestores da empresa vêm com manual de instruções para montagem e para manuseio (como ativar, tratar e manter o sistema). Maiores detalhes dos componentes e *layout* do biodigestor da HomeBiogas podem ser observados na Fig. 1.



Figura 1. Layout do biodigestor HomeBiogas.

3.3.2 Estudo de viabilidade econômica

Para realizar o cálculo da taxa interna de retorno de investimento do município com a aquisição dos biodigestores, foram coletados dados através da Secretaria de Educação do município relacionados aos preços de disposição dos resíduos em aterro sanitário, em toneladas, e o preço dos botijões de GLP de 45 kg. Cada escola utiliza mensalmente dois botijões de GLP de 45 kg, estas quantidades foram coletadas por meio de formulário encaminhado para as diretoras das escolas (Apêndice I).

Dados referentes ao preço dos dois modelos de biodigestores da HomeBiogas, tempo de vida útil dos biodigestores (15 anos) e número de botijões de biogás equivalentes à botijões de 13 kg de GLP para cada modelo de biodigestor foram coletados diretamente do site da HomeBiogas. Segundo os dados da HomeBiogas o biodigestor modelo 2.0 produz biogás equivalente a 1 botijão de 13 kg de GLP e o HomeBiogas 7.0 produz biogás equivalente a 3 botijões de 13 kg de GLP por mês. Para realização dos cálculos do número de botijões de 45 kg equivalentes, os dados fornecidos pela HomeBiogas para botijões de 13 kg foram multiplicados pelo fator de conversão 0,29 (um botijão de 13 kg corresponde a aproximadamente 29 % de um botijão de 45 kg). A Tab. 1 apresenta os dados utilizados para o cálculo da taxa interna de retorno de forma sistematizada.

Tabela 1 - Dados utilizados na determinação da taxa interna de retorno.

Custo Aquisição HomeBiogás 7.0	R\$ 15.400,00
Custo Aquisição HomeBiogás 2.0	R\$ 10.400,00
Custo Botijão GLP (45 kg)	R\$ 400,00
Custo disposição de resíduo em aterro sanitário de Minas do Leão (R\$/ton)	R\$ 219,00
Quantidade Equivalente de HomeBotijões GLP (45 kg) - Biogás 7.0	0,87
Quantidade Equivalente de HomeBotijões GLP (45 kg) - Biogás 2.0	0,29
Consumo de Resíduos HomeBiogás 7.0 (kg/dia)	10
Consumo de Resíduos HomeBiogás 2.0 (kg/dia)	4
Dias trabalhados nas escolas por mês	20

Para a análise econômica, foram empregados parâmetros de viabilidade de projetos, incluindo: O Valor Presente Líquido (VPL), o qual é a diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa associadas ao projeto e o investimento inicial necessário. A Taxa Interna de Retorno (TIR), que é a taxa de retorno exigida para se ter um VPL igual a zero, quando utilizada como taxa de desconto. O VPL zero demonstra o ponto de equilíbrio econômico do projeto. O período em anos foi considerado para a determinação do *Payback*, que é o indicador que representa o tempo necessário para que o fluxo de caixa acumulado do projeto se torne positivo, ou seja, para que o investimento inicial seja recuperado.

3.3.3 Cálculo das emissões de CO₂ evitadas

Ao utilizar o biogás em substituição ao gás liquefeito de petróleo (GLP), evita-se emitir CO₂ e outros gases poluentes ao meio ambiente. A Calculadora de Redução de Emissões da Gás Verde (que pode ser encontrada no domínio <https://gasverde.com.br/calculadora/>), é uma ferramenta que fornece a estimativa da redução das emissões ao utilizar o biogás em substituição ao GLP.

Para fazer a estimativa, da redução das emissões de CO₂ pela utilização do biogás em substituição ao GLP no preparo dos alimentos da merenda escolar foram adicionados na calculadora os dados de consumo anual, em quilogramas (kg), de GLP utilizados por cada escola descontadas as quantidades de biogás geradas em cada modelo de biodigestor. Segundo os dados fornecidos pelas diretoras das escolas, o atual consumo anual de GLP para as escolas A, B, C e D é de 1.080 kg, cada. O HomeBiogas 2.0 e 7.0, geram anualmente, cerca de 156 kg e 468 kg de biogás equivalentes ao GLP, respectivamente. Considerando estes dados, é possível calcular a quantidade de emissões de CO₂ evitadas por meio do uso do Homebiogas 2.0 e HomeBiogas 7.0.

Para a realização do cálculo de emissões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) para o transporte até Minas do Leão, utilizou-se como base o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, do Ministério do Desenvolvimento (BRASIL, 2009). Para realizar a análise de emissões foi utilizada a equação 1:

$$GEE = \frac{Cc * FE}{10^3} \quad (1)$$

Onde:

GEE: Emissões de gases de efeito estufa decorrentes do transporte de carga [tCO₂eq];

Cc: Distância Percorrida [km];

FE: Fator de emissão de GEE [kgCO₂eq/km].

O fator de emissão de GEE, é de 0,77 kgCO₂eq/km para carretas a diesel segundo a literatura estudada (BRASIL, 2009). Para a distância percorrida foi utilizada a distância de 412 km (Imbé a Minas do Leão, ida e volta). O cálculo efetuado neste estudo trata-se de uma aproximação, uma vez que o fator de emissão varia de acordo com a quantidade de carga na carreta, a qual tem influência na variação do consumo de combustível. Para o cálculo do número de carretas que seriam necessárias, anualmente, para o transporte dos resíduos alimentares das escolas, foi utilizada uma carreta padrão de 65 m³ de capacidade e a densidade do resíduo orgânico de 800 kg/m³ (QUARESMA, 1998). A estimativa de emissões de ton CO₂eq foi determinada a partir do resultado da equação 1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Diagnóstico da situação atual

O planejamento inicial previa a participação que todas as escolas de educação infantil do município (8 escolas) pesassem os resíduos diariamente no turno da manhã e no turno da tarde, durante 6 meses a fim de ter uma base de dados padronizada e entender os padrões de geração de RAL nas diferentes épocas do ano. Porém, por questões relacionadas à rotina acelerada e atarefada dos funcionários de uma escola de educação infantil, o combinado inicial acabou sofrendo prejuízos, implicando em quantidades diferentes de dias por mês em que houve pesagem em cada escola. Algumas escolas deixaram de realizar as pesagens por mais de 20 dias em alguns meses e por isso, os dados coletados nessas escolas não foram considerados no estudo, permanecendo apenas quatro escolas que tiveram no mínimo 8 dias de pesagens por mês nos 6 meses de estudo.

As escolas de educação infantil estudadas, aqui nomeadas A, B, C e D, geraram uma média de 12,77 ± 1,36 kg, 2,82 ± 0,79 kg, 7,31 ± 0,80 kg e 8,09 ± 0,89 kg, respectivamente, de resíduos alimentares por dia. Atualmente, somente as escolas A e C fazem compostagem dos resíduos, mas não utilizam todos os resíduos gerados diariamente na compostagem e não possuem o controle da quantidade de resíduos que vão para a composteira. Portanto, neste estudo foi utilizada a média diária total sem descontar a massa que eventualmente é utilizada na compostagem.

Existem variáveis que interferem na quantidade de RAL geradas, além da quantidade de alunos, tais como época do ano, tipo de merenda que é ofertada entre outras, portanto, não é possível relacionar a quantidade de alunos com a quantidade de resíduos gerada. A Fig. 2 apresenta a quantidade total de resíduos alimentares gerados ao longo dos meses, bem como a média diária por mês em cada uma das escolas estudadas.

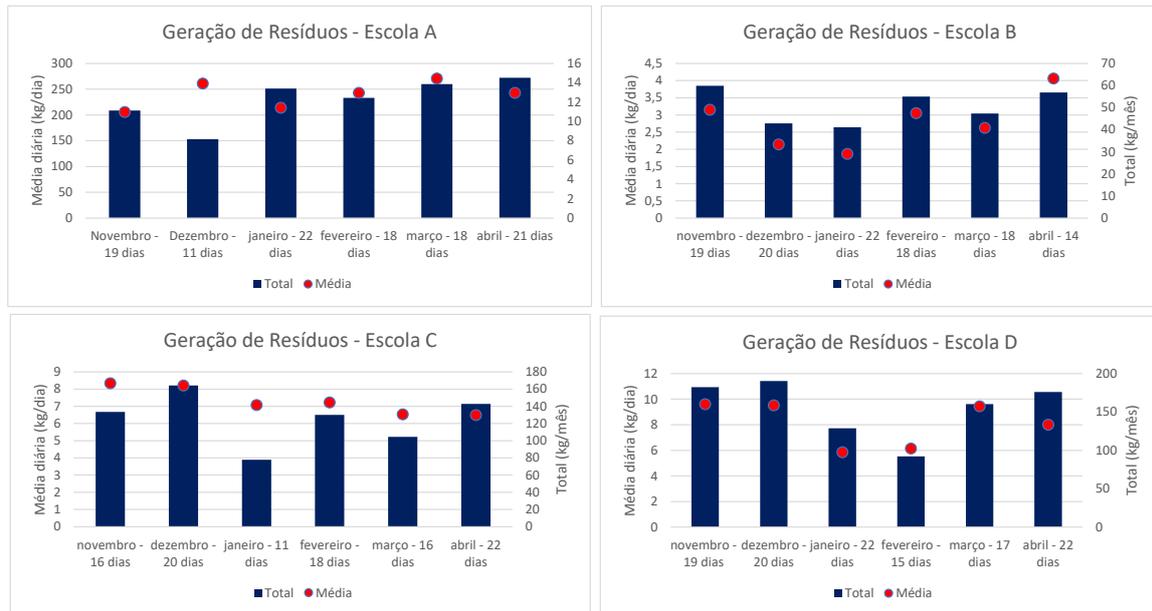


Figura 2. Média diária e quantidade total de resíduos alimentares gerados ao longo dos meses nas escolas estudadas.

4.2 Determinação do biodigestor

De acordo com a quantidade de resíduos gerada, foi possível determinar a configuração do biodigestor mais adequado para cada escola, conforme suas especificações técnicas. A Tab. 2 apresenta o modelo escolhido para cada escola.

Tabela 2 - Modelo de biodigestor escolhido para cada escola em função da média diária de resíduos

Escola	Média diária de resíduos \pm desvio padrão (kg)	Biodigestor escolhido
A	$12,78 \pm 1,36$	7.0
B	$2,82 \pm 0,79$	2.0
C	$7,31 \pm 0,80$	7.0
D	$8,09 \pm 0,89$	7.0

As escolas A, C e D apresentam faixa média de $7,31 \pm 0,80$ kg a $12,78 \pm 1,36$ kg de resíduos diários. Segundo as especificações do fabricante, o biodigestor HomeBiogas 7.0 é adequado para até 10 kg por dia de resíduos orgânicos e 60 kg por dia de esterco animal. Como as escolas não funcionam nos finais de semana, a sobrecarga do biodigestor na escola A deve ser compensada. Teoricamente, o biodigestor tem capacidade para processar 70 kg de resíduos em 7 dias, com a média diária de $12,78 \pm 1,36$ kg em 5 dias a Escola A abasteceria o biodigestor com uma média de 63,9 kg semanais, o que não causaria prejuízos para o seu funcionamento. Para a Escola B que gera uma média diária de $2,82 \pm 0,79$ o biodigestor escolhido foi o HomeBiogas 2.0 que tem capacidade de receber até 4 kg por dia de resíduos orgânicos ou até 18 kg de esterco animal.

4.3 Estudo de viabilidade econômica

A partir da determinação de qual biodigestor é aconselhável para cada escola, foi determinado a quantidade de biogás gerada, o número de botijões de GLP que podem ser substituídos por biogás anualmente e a quantidade de botijões GLP que ainda precisarão ser adquiridos, conforme apresentado na Tab. 3.

Tabela 3 - Números de botijões de GLP (45 kg) que podem ser substituídos e número de botijões de GLP (45 kg) que precisam ser adquiridos por cada escola

Escola	Biodigestor escolhido	Número de botijões GLP (45 kg) utilizados pelas escolas por ano	Número de botijões de biogás equivalentes a botijões GLP (45 kg) por ano	Número de botijões GLP (45 kg) que precisam ser comprados por ano
A	7.0	24	10	14
B	2.0	24	3	21
C	7.0	24	10	14
D	7.0	24	10	14

Considerando o custo de R\$ 400,00 por botijão de GLP (45 kg) tem-se um custo anual, atualmente de R\$ 9.600,00 por escola, totalizando R\$ 38.400,00 para as quatro escolas. Com a utilização do biodigestor esse custo cai para R\$ 5.600,00 para as escolas A, C e D e para R\$ 8.400,00 para a Escola B, totalizando uma economia para o município de R\$ 13.200,00 por ano em gás de cozinha.

A implementação dos biodigestores HomeBiogas nas escolas de Imbé/RS apresenta um retorno financeiro positivo, com um investimento inicial de R\$ 56.600,00. O retorno é alcançado em aproximadamente 3,41 anos, conforme indicado pela Tab. 4. O Gráfico 1 apresenta o *payback* simples do projeto e o retorno financeiro para a Prefeitura nos 15 anos de vida útil dos biodigestores.

Gráfico 1 – Payback do projeto

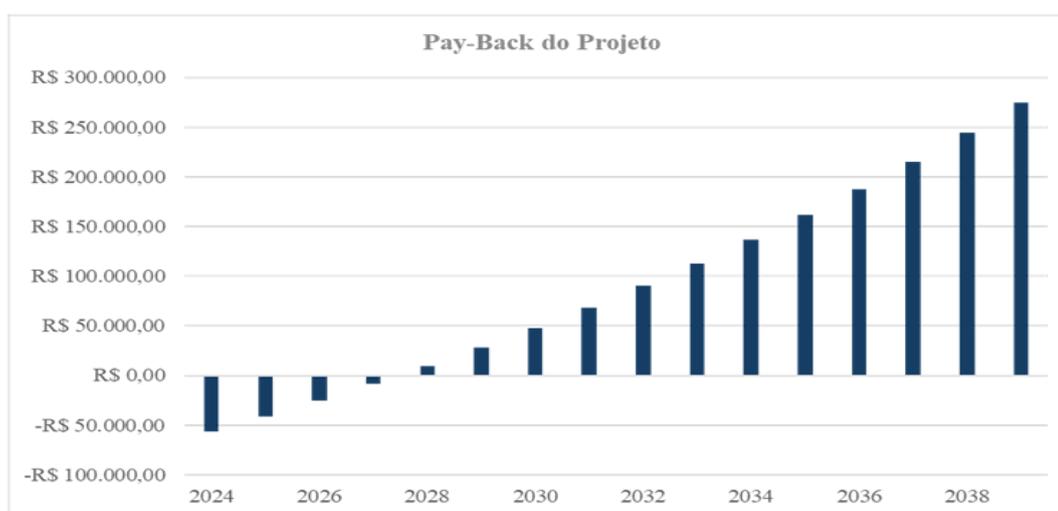


Tabela 4 - Comparativo de custos com e sem implementação dos biodigestores

Comparativo Antes x Depois dos Biodigestores						
		Escola A	Escola B	Escola C	Escola D	Total
Custo Pré-implementação	Quantidade Botijão por mês	2,00	2,00	2,00	2,00	8
	Média Anual Resíduos (kg)	3067,20	674,40	1754,40	1941,60	7437,60
	Média Mensal Resíduos (kg)	255,60	56,20	146,20	161,80	619,80
	Média Diária Resíduos (kg)	12,78	2,81	7,31	8,09	30,99
	Custo Anual Botijão	R\$ 9.600,00	R\$ 9.600,00	R\$ 9.600,00	R\$ 9.600,00	R\$ 38.400,00
	Custo Anual Aterro	R\$ 671,72	R\$ 147,69	R\$ 384,21	R\$ 425,21	R\$ 1.628,83
	Custo Anual Total	R\$ 10.271,72	R\$ 9.747,69	R\$ 9.984,21	R\$ 10.025,21	R\$ 40.028,83
Custo Pós-implementação	Tipo Biodigestor	7.0	2.0	7.0	7.0	N/A
	Quantidade Botijão por mês	1,13	1,71	1,13	1,13	5,11
	Média Anual Resíduos (kg)	667,20	0,00	0,00	0,00	667,20
	Média Mensal Resíduos (kg)	55,60	0,00	0,00	0,00	55,60
	Inflação manutenção:	2,78	0,00	0,00	0,00	2,78
	Custo Anual Botijão	R\$ 5.440,00	R\$ 8.213,33	R\$ 5.440,00	R\$ 5.440,00	R\$ 24.533,33
	Custo Anual Aterro	R\$ 146,12	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 146,12
	Custo Anual Total	R\$ 5.586,12	R\$ 8.213,33	R\$ 5.440,00	R\$ 5.440,00	R\$ 24.679,45
Diferença Financeira		R\$ 4.685,60	R\$ 1.534,36	R\$ 4.544,21	R\$ 4.585,21	R\$ 15.349,38
Break Even Desconsiderando Reajuste (Anos)		3,29	6,78	3,39	3,36	3,69

A receita anual aumenta a uma taxa de 5% ao ano. A economia de caixa é positiva a partir do primeiro ano, começando em R\$ 15.349,38 e aumentando gradualmente até R\$ 30.360,73 no décimo quinto ano. No primeiro ano, a economia de caixa é suficiente para reduzir o investimento inicial, resultando em uma economia acumulada de R\$ 9.557,76 no quarto ano.

O investimento inicial de R\$ 56.600,00 é recuperado entre o terceiro e o quarto ano. A partir do quarto ano, o projeto começa a gerar economia líquida positiva, acumulando R\$ 274.617,66 ao final do décimo quinto ano. O Valor Presente Líquido (VPL) positivo de R\$ 149.321,88 e a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 28,86% reforçam a atratividade do projeto, mostrando que o retorno esperado excede a taxa mínima de atratividade de 10,5%.

As escolas A, C e D demonstram um retorno financeiro mais rápido, com *payback* variando de 3,29 a 3,36 anos. Esses resultados indicam uma recuperação do investimento inicial em um período relativamente curto, reforçando a eficiência do biodigestor HomeBiogas em reduzir custos operacionais ao transformar RAL em biogás.

A Escola B, no entanto, apresenta um tempo de retorno maior, com um *payback* de aproximadamente 6,78 anos. Este tempo de retorno mais longo pode ser atribuído ao fato de que a escola em questão tem uma menor geração de RAL. Apesar disso, a Escola B ainda se beneficia da implementação do biodigestor, alcançando economias significativas ao longo do tempo.

4.4 Emissões de CO₂ evitadas

As escolas de educação infantil estudadas consomem mensalmente 2 botijões de GLP de 45 kg no preparo das refeições oferecidas na merenda escolar. Segundo a Calculadora de Reduções de Emissões da empresa Gás Verde as quatro escolas emitem 12 toneladas de CO₂ eq/ano, com a substituição total por biometano são reduzidas em 99,92% as emissões de gases poluentes. A Tab. 5 apresenta os dados de emissão de CO₂ eq/ano atuais e as emissões de CO₂ eq/ano evitadas para cada uma das escolas estudadas.

Tabela 5 - Emissões de CO₂ eq/ano atuais e as emissões de CO₂ eq/ano evitadas

Escola	Consumo de GLP (kg/ano)	Emissão de ton de CO ₂ eq/ano com uso de GLP	Produção de biogás equivalente GLP (kg/ano)	Emissão ton de CO ₂ eq/ano com utilização de biogás	Emissão de ton de CO ₂ eq/ano evitadas
A	1.080	3	469,8	2	1
B	1.080	3	156,0	3	-
C	1.080	3	469,8	2	1
D	1.080	3	469,8	2	1

Analisando os dados da Tab. 5 pode-se observar que com a utilização dos biodigestores nas escolas é possível evitar a emissão de 3 ton de CO₂ eq/ano, o que corresponde a 25 % de redução em relação às emissões atuais considerando as quatro escolas estudadas. Apenas a Escola B não contribui significativamente para diminuição das emissões pela substituição ao GLP, em função da baixa produção de biogás, devido à pequena quantidade de resíduo que abastece o biodigestor.

O resultado de emissões evitadas para a distância de 412 km por carreta foi de 0,32 ton de CO₂eq. Além disso, a utilização de biodigestores nas escolas estudadas tem a possibilidade de redução de mais de 3 ton de CO₂eq pelo tratamento dos RAL de forma descentralizada e a substituição do GLP por biogás no preparo da merenda escolar.

Outro benefício da substituição do GLP por biometano, segundo a Calculadora de Redução de Emissões da Gás Verde, seria o ganho para a prefeitura de R\$ 2.116,13 anuais em venda de crédito de carbono.

5. Conclusões

A implementação de biodigestores nas escolas de educação infantil de Imbé/RS representa um avanço significativo em termos de sustentabilidade, economia e educação ambiental. Este estudo comprovou que a utilização desses sistemas não apenas viabiliza a substituição do gás liquefeito de petróleo (GLP) por biogás na preparação das refeições escolares, mas também contribui para a redução dos custos operacionais do município, com uma economia projetada de aproximadamente R\$ 17.000,00 por ano a partir do quarto ano pós implementação. Este valor pode ser reinvestido em melhorias nas próprias escolas.

Além dos benefícios econômicos, a implementação dos biodigestores traz um impacto ambiental positivo significativo. A redução de emissões de gases de efeito estufa, especialmente o metano, que é 21 vezes mais poluente que o CO₂, destaca-se como uma das principais vantagens, contribuindo para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. A transformação dos resíduos orgânicos em biogás e biofertilizantes também reforça a importância da gestão sustentável de resíduos, diminuindo a quantidade de resíduos enviados aos aterros sanitários e reduzindo as emissões de CO₂ associadas à decomposição anaeróbica e ao transporte desses resíduos.

Do ponto de vista educacional, ao envolver diretamente os alunos e a comunidade no processo de gestão de resíduos e na geração de energia renovável, o uso de biodigestores promove uma conscientização prática sobre a importância da sustentabilidade. Os alunos, ao vivenciarem essas práticas no cotidiano escolar, são incentivados a se tornarem cidadãos mais conscientes e responsáveis, fortalecendo o papel da educação na construção de uma sociedade mais sustentável.

O impacto positivo desse projeto não se limita ao município de Imbé. A implementação bem-sucedida de biodigestores pode servir como modelo para outras cidades da região, incentivando a adoção de tecnologias sustentáveis em todo o Litoral Norte do Rio Grande do Sul. As práticas desenvolvidas em Imbé têm o potencial de serem replicadas em outras escolas e cidades, aumentando os benefícios sociais, ambientais e econômicos de forma mais abrangente.

Em síntese, este trabalho valida a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implementação de biodigestores em escolas e destaca a importância de integrar educação e sustentabilidade. Ao se promover um modelo de gestão de resíduos eficiente e educativo nas cidades, a sociedade dá um passo significativo em direção a um futuro mais equilibrado e consciente, beneficiando tanto a geração atual quanto as futuras.

REFERÊNCIAS

- ABIOGÁS - PNBB Programa Nacional do Biogás e Biometano, 2022. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2022/01/PNBB.pdf>> Acesso em: 3 jun. 2024.
- ABIOGÁS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. O potencial brasileiro de biogás. São Paulo (SP), 2020. Disponível em: <https://abiogas.org.br/wpcontent/uploads/2020/11/NOTA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf> Acesso em: 22 maio 2024.
- ANGONESE, A. R et al. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.3, p.648-657, set./dez.2007.
- AMARAL, A. C. et al. Os biodigestores. In: KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do (Ed.). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 41-68. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21452/978-85-93823-01-5.2019.01_3> Acesso em: 14 jun. 2024.
- ASSONALIO, D. J. et al. Perspectivas da geração de energia a partir do resíduo sólido urbano: estudo de caso do aterro sanitário municipal de Capão da Canoa (RS). In: IX Seminário sobre Tecnologias Limpas, 2021, Porto Alegre.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR; Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA; Coordenação de Estudos Econômicos e Empresariais - COGEC. INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - GEE. Manaus, 2009.
- BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm> Acesso em: 19 maio 2024.
- BRASIL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Manual de orientação para uso do biodigestor– Belém: SEMAS, 2023. 30f. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/02/MANUAL_DO_BIODIGESTOR.pdf> Acesso em: 27 maio 2024.
- BALMANT, W. Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Pará. Curitiba, p. 60, 2009.
- CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. Engenharia Agrícola, 35(6), 990–997, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p990-997/2015>> Acesso em: 24 jun. 2024.
- CARTAXO, A. S. B. et al. Biodigestor caseiro como ferramenta metodológica para o ensino de educação ambiental nas escolas. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 214-230, abr/jun. 2020.
- CORRÊA, M. A. K; BERHORST, N. Panorama do Biogás 2023. Centro Renováveis de Energias Renováveis - Biogás. Foz do Iguaçu, 2024.
- DEUBLEIN, Dieter; STEINHAUSER, Angelika. Biogas from waste and renewable resources: an introduction. John Wiley & Sons, 2011.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Economicidade e competitividade no aproveitamento de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 2014. 40 p. (Série Recursos, Nota Técnica DEA 16/14). Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2016%20-%20Economicidade%20e%20Competitividade%20do%20Aproveitamento%20Energetico%20d%5B1%5D.pdf>> Acesso em: 14 jul. 2024.
- HOME BIOGAS. Transforme seus resíduos orgânicos em energia limpa e renovável. São Paulo, [s/d]. Disponível em: <<https://www.homebiogas.com.br/contato>> Acesso em: 12 jun. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), Cidades e Estados, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/imbe.html>>. Acesso em: 20 ago. 2024.

- LAMPERT, C. M. Um estudo sobre o uso de biodigestores no Brasil. Tese (Especialização em Sustentabilidade em cidades, edificações e produtos) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/45158/3/Um%20estudo%20sobre%20o%20uso%20de%20biodigestores%20no%20Brasil_Clarissa%20Lampert.pdf> Acesso em: 13 jul. 2024.
- LANA, M. M.; PROENÇA, L. C. Resíduos orgânicos. Embrapa, Brasília, ago. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/secoes/residuos-organicos>> Acesso em: 10 jun. 2024.
- LANDIM, A. L. P. F.; AZEVEDO, L. P. O aproveitamento energético do Biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.27, p. 59-100, mar. 2008.
- MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE (MMA). Gestão de Resíduos Orgânicos. Site oficial do governo brasileiro, 2017. Disponível em <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADuos-org%C3%A2nicos.html#o-que-sao-residuos-organicos>>. Acesso em: 17 maio 2024.
- MATTOS, M. Efeito vizinhança e eficácia coletiva: A relevância do contexto na explicação sociológica. Revista Sociedade e Estado, 33(1), 295-301, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0102-699220183301012>>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- OBSERVATÓRIO DE INOVAÇÃO PARA CIDADES SUSTENTÁVEIS (OICS). Aproveitamento energético do biogás com biodigestores. OICS. Brasília, [s/d]. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/solucoes/aproveitamento-energetico-do-biogas-com-biodigestores_5d74f5eb43cea6e6c89d0fa> Acesso em: 23 jun. 2024.
- PASCHOETO, J. F.; et al. Biodigestor e a Geração de Biofertilizante e Biogás. Encontro Internacional De Produção Científica. UNICESUMAR - Centro Universitário de Maringá, Paraná, 2017.
- QUARESMA, J.B. Proposta para tratamento dos resíduos sólidos na cidade de Monte Alegre. Ministério de Minas e Energia e Governo do Estado do Pará: Monte Alegre, 1998.
- RICCI-JÜRGENSEN, M. Manual para Gestão de Resíduos Orgânicos nas Escolas. Climate and Clean Air Coalition, Municipal Solid Waste Initiative (CCAC MSWI), 2016. Disponível em: <<https://www.portalbiogas.com.br>>. Acesso em: 27 maio 2024.
- SANTOS, F. R.; CÂNDIDO, C. R. F. A percepção sobre meio ambiente e Educação Ambiental na prática docente das professoras das escolas municipais rurais de Morrinhos, GO. Interações, Campo Grande, MS, v. 24, n. 1, p. 175-91, jan./mar. 2023.
- SILVA, C. E. V. Avaliação da produção de biogás em um biodigestor de pequena escala com foco na sustentabilidade. Tese (Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade do Vale do Taquari, Univates. Lajeado, p. 75, 2021.
- SOARES, F. R. et al. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos - Caieiras. Engenharia Sanitária Ambiental. 22 (05) • Set./Out. 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/qxvLfvfjY6C8RWFTw3CRZL/?lang=pt#>> Acesso em: 16 jun. 2024.
- SOARES, I. P. et al. BIOGÁS E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEIS. EMBRAPA AGROENERGIA, DOCUMENTO 29. BRASÍLIA, 2022.
- SOUZA, A. R. et al. Análise do potencial de aproveitamento energético de biogás de aterro e simulação de emissões de gases do efeito estufa em diferentes cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos em Varginha (MG). Engenharia Sanitária Ambiental. 24 (05), set./out. 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/tyKR6PW6G4QYhqfLHhpZggs/?lang=pt#>> Acesso em: 13 jul. 2024.
- ZANETTE, A. L. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. Tese (Dissertação de Mestrado) - Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

APÊNDICE 1 – Questionário aplicado às diretoras das escolas

30/07/2024, 18:05 Formulário Escolas

Formulário Escolas

Este formulário faz parte de um estudo de caso para levantamento de dados para a realização de um Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Viabilidade da implementação de biodigestores nas escolas de educação infantil do município de Imbé".

* Indica uma pergunta obrigatória.

1. NOME DA ESCOLA? *
2. NÚMERO DE ALUNOS DA ESCOLA? *
3. NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS DA ESCOLA? *
4. NÚMERO DE REFEIÇÕES FORNECIDAS DIARIAMENTE POR TURNO? *
5. MARCA E MODELO DO FOGÃO UTILIZADO NA ESCOLA? *
6. TAMANHO DOS BOTIJÕES QUE A ESCOLA UTILIZA? *
7. QUANTIDADE DE BOTIJÕES UTILIZADOS POR MÊS? *

https://docs.google.com/forms/d/1vpiq_Aycv8RBIhtPqDxatD5FRN20grjwvC6FtyN0Dledt?pli=1 1/3

30/07/2024, 18:05 Formulário Escolas

8. EXISTE UM CARDÁPIO PRÉ ESTABELECIDO QUE É SEGUIDO? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Outro: _____

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

ANEXO 1 – Características dos biodigestores HomeBiogás 2.0 e HomeBiogás 7.0

ITENS	HB 2.0	HB 7.0
Dimensões da Caixa de Transporte	CAIXA A: 26x40x80 CAIXA B: 32x40x80	CAIXA A: 42x40x100 CAIXA B: 33x40x100
Peso do Sistema na Caixa	20 kg	33 kg
Dimensões do Sistema Montado	210 Cx115Lx140A cm	400 Cx180Lx145A cm
Peso Total do Sistema Montado (aproximado)	1.400 kg	4.600 kg
Volume do Tanque Digestor	1.300 L	4.200 L
Volume do Tanque de Gás	700 L	2.500 L
Quantidade Diária Máxima de Resíduos Alimentares	Até 4 kg	Até 10 kg
Quantidade Diária Máxima de Esterco Animal	Até 18 kg	Até 60 kg
Saída Nominal Diária de Biogás	Até 700 L	Até 2.500 L
Pressão Nominal do Gás na Saída do Sistema	10 mbar	10 mbar
Pressão Máxima do Gás Suportada pelo Sistema de Alívio	15 mbar	15 mbar
Quantidade Diária Típica de Saída de Energia	4,4 kWh	15,71 kWh
Distância do Fogão	Até 20 metros	Até 40 metros
Tempo de Cocção (um único queimador)	Até 2- 3 horas diárias	Até 5- 7 horas diárias
Quantidade de Produção de Fertilizante	O mesmo volume de resíduos orgânicos que entra no sistema	O mesmo volume de resíduos orgânicos que entra no sistema
Temperatura Ótima de Desempenho	> 25 °C	> 25 °C
Temperatura Boa de Desempenho	> 20 °C	> 20 °C
Temperatura que Requer Aquecedor e/ou Estufa	≤ 20° C	< 20° C
Vida Útil Estimada	15 anos	15 anos
Garantia	24 meses para materiais e partes	24 meses para materiais e partes