



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Silvie Janis Mossate Jobim

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DOS
FRUTOS DE BUTIÁ (*BUTIA* (ARECACEAE)).**

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2024

SILVIE JANIS MOSSATE JOBIM

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DOS FRUTOS
DE BUTIÁ (*Butia* (Arecaceae)).**

Documento de tese submetido ao Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do Grau de Doutora em Design.

Orientadora: **Prof.^a Dr.^a Lauren da Cunha Duarte**

Porto Alegre

2024

CIP - Catalogação na Publicação

Jobim, Silvie Janis Mossate
CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS
DOS FRUTOS DE BUTIÁ (BUTIA (ARECACEAE)). / Silvie
Janis Mossate Jobim. -- 2024.
116 f.
Orientador: Lauren da Cunha Duarte.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Resíduos. 2. fibras de butiá. 3. painéis
acústicos. 4. caracterização. I. Duarte, Lauren da
Cunha, orient. II. Título.

Silvie Janis Mossate Jobim

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DOS FRUTOS
DE BUTIÁ (*Butia* (Arecaceae)).**

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutora em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 09 janeiro de 2024.

Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lauren da Cunha Duarte

Programa de Pós-Graduação em Design – PGDesign/UFRGS

Prof. Dr. Luis Henrique Alves Candido

Programa de Pós-Graduação em Design – PGDesign/UFRGS

Prof.^a Dr.^a Rosa Lía Barbieri

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Clima Temperado -
EMBRAPA

Prof.^a Dr.^a Érika da Silva Ferreira

Universidade Federal de Pelotas – UFPEL

Dedicatória

A minha filha Nathalia Jobim Romero, que é minha inspiração e motivação para persistir. Grande companheira a quem não canso de dizer o quanto a amo!

Aos meus pais, Clarení e Jorge André, pelo suporte emocional, pelo seu amor e por, através dele, terem transmitido seus princípios de vida! Em especial a minha mãe Clarinha que sempre foi meu ídolo.

Aos meus irmãos Letícia e André, minha cunhada Cláudia, pelo incentivo e companheirismo.

A minha madrinha Carmen Ligia pelo apoio, acolhimento e incentivo, pelas boas risadas que suavizaram todo este processo.

Minha família é o meu alicerce! muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial a minha orientadora, Prof^a. Dra. Lauren da Cunha Duarte, que nesta longa caminhada sempre confiou no meu trabalho, me apoiou e auxiliou em todos os momentos; por acreditar e valorizar nosso trabalho, confiar na minha capacidade, à amizade e, sobretudo, pela paciência em todos os momentos.

Agradeço àqueles que me acompanham nessa caminhada desde o mestrado; as minhas colegas e amigas de pós graduação, especialmente a Danieli Nejeliski, Jaqueline Dilly, ao colega e amigo Gabriel Barbieri, pela amizade, troca de experiências e contribuições para o trabalho; também pelas nossas alegrias, vitórias, anseios.

A meu amigo Marcelo Brito por me proporcionar momentos de lazer, que me ajudaram a manter a estabilidade emocional!

Aos meus colegas de trabalho do Instituto Federal Sul Rio Grandense - IFSul pelo o apoio e compreensão, pois somente com a ajudada de todos foi possível concluir essa etapa.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Design e em especial ao LdSM por todo apoio e estrutura nessa etapa, também a todos os professores envolvidos direta e indiretamente, que contribuíram na minha trajetória dividindo seus conhecimentos, conselhos, orientações.

Aos componentes da minha banca, Rosa Lía Barbieri, Luis Henrique Alves Cândido, Érika Ferreira e Eliana Paula Calegari por compartilharem seus conhecimentos através das valiosas observações que contribuíram com sugestões para a evolução da minha pesquisa.

Aos laboratórios de Design e Seleção de Materiais – LdSM, ao LAVeg e Nutrição Animal (LNA) do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

Ao professor Paulo Henrique Mareze do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Acústica - EAC, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

A Prof^a. Dr^a. Érika Ferreira, coordenadora do Laboratório de Painéis de Madeira (LAPAM) da UFPel, pela disponibilidade e auxílio.

À CAPES e CNPq pelo auxílio e pela bolsa concedida.

Muito obrigada!

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

Simone de Beauvoir

RESUMO

JOBIM, Silvie J.M. CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DOS FRUTOS DE BUTIÁ (*Butia (Arecaceae)*). 2024. 116 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

Os butiazeiros pertencem a um gênero de palmeiras que reúne vinte e duas espécies nativas da América do Sul e seu ecossistema é reconhecido pela sua biodiversidade e contexto histórico-cultural. Dos frutos, além de serem consumidos *in natura*, são elaboradas iguarias como sucos, bolos, entre outros. Na preparação destes alimentos sobram as fibras dos frutos, que são utilizados em artesanatos, compostagens, etc. Buscando viabilizar a utilização desses resíduos no design de produtos, essa pesquisa teve como objetivo caracterizar as sobras dos frutos de butiá, produzir painéis e analisar seu potencial termoacústico. Para isso, inicialmente, foram caracterizados os resíduos dos frutos de butiá utilizando técnicas analíticas como a microscopia eletrônica, análise termogravimétrica, espectroscopia no infravermelho, composição química e umidade. Com auxílio da microscopia eletrônica foi possível visualizar as fibras entrelaçadas com resquícios de polpa seca, e os canais de comunicação que corroboram para que o material seja hidrofílico. O fator significativo obtido com o TGA, foi que até 250 °C, podem ser consideradas termicamente estáveis. Nos espectros de infravermelho foi possível observar os movimentos para as bandas típicas de absorção presentes nas fibras lignocelulósicas relacionadas com a celulose, hemicelulose e lignina. O teor médio de umidade obtido foi de 14,16%, e a composição química apontou a presença de 25,22% de celulose, 31,49% de hemicelulose, e 7,17% de lignina. Para a produção dos painéis foram desenvolvidos dois modelos de moldes: um hexagonal (256x121x40 mm) e um retangular (503x247x40 mm) em acrílico de 3mm. Esses serviram para estabelecer parâmetros como a espessura final do painel, quantidade de resíduos necessários para produção e tempo de secagem. O material apresentou boa agregação das fibras utilizando apenas água. Em relação à textura apresentaram aspecto rústico. Para a caracterização dos painéis foram analisadas as propriedades como a densidade aparente, absorção de água, inchamento, acústicas, térmicas e a flamabilidade. Quanto à densidade indica que os painéis são de baixa densidade (0,173 g/cm³). Com relação a absorção de água, indica que os painéis são hidrofílicos e o processo ocorre rapidamente. Acerca dos resultados acústicos constatou-se que os PRP30 alcançaram o melhor desempenho em relação à absorção quando comparada às outras amostras. Com exceção nas frequências de 2000 Hz e 3000Hz, em que a amostra de PRP25 foi superior. Os painéis PRP com espessura de 30mm apresentaram resultados superiores a produtos produzidos industrialmente. Quanto à termografia de infravermelho observou-se que o material promoveu a redução na temperatura, na parte externa coberta pelo painel, chegando a 45,1°C de diferença entre os blocos, sendo considerado um resultado positivo. No que se refere a flamabilidade foi constatado que é essencial a aplicação de antichamas nos painéis.

Palavras-chave: Resíduos, fibras de butiá, painéis acústicos, caracterização.

ABSTRACT

JOBIM, Silvie J.M. CHARACTERIZATION OF PANELS PRODUCED WITH BUTIÁ FRUIT WASTE (*Butia* (Arecaceae)). 2024. 116 p. Thesis (Doctorate in Design) – School of Engineering, Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

Butiazeiros belong to a genus of palm trees that includes twenty-two species native to South America and their ecosystem is recognized for its biodiversity and historical and cultural context. In addition to being eaten fresh, the fruit is also used to make delicacies such as juices, cakes and more. The fibers left over from the preparation of these foods are used in handicrafts, composting, etc. In order to make it possible to use this waste in product design, this research aimed to characterize the waste from butiá fruit, produce panels and analyse their thermoacoustic potential. To this end, the butiá fruit waste was initially characterized using analytical techniques such as electron microscopy, thermogravimetric analysis, infrared spectroscopy, chemical composition and humidity. With the aid of electron microscopy, it was possible to see the interwoven fibers with remnants of dried pulp, and the communication channels that corroborate that the material is hydrophilic. A significant factor obtained from the TGA was that up to 250 °C, they can be considered thermally stable. In the infrared spectra, it was possible to observe the movements for the typical absorption bands present in lignocellulosic fibers related to cellulose, hemicellulose and lignin. The average moisture content obtained was 14.16% and the chemical composition showed the presence of 25.22% cellulose, 31.49% hemicellulose and 7.17% lignin. To produce the panels, two mold models were developed, one hexagonal (256x121x40 mm) and one rectangular (503x247x40 mm). These were used to establish parameters such as the final thickness of the panel, the amount of waste needed for production and the drying time. The material showed good fiber aggregation using only water. The texture was rustic. To characterize the panels, properties such as apparent density, water absorption, swelling, acoustic, thermal and flammability were analysed. The density indicates that the panels have a low density (0.173 g/cm³). With regard to water absorption, this indicates that the panels are hydrophilic and the water absorption process occurs rapidly. The acoustic results showed that PRP30 achieved the best absorption performance compared to the other samples. With the exception of the frequencies of 2000 Hz and 3000Hz, where the PRP25 sample was superior. PRP panels with a thickness of 30mm showed superior results to industrially produced products. Infrared thermography showed that the material reduced the temperature of the external part covered by the panel, reaching a difference of 45.1°C between the blocks, which is considered a positive result. With regard to flammability, it was found that it is essential to apply flame retardants to the panels.

Keywords: Residues, butiá fibers, acoustic panels, characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mascaras confeccionadas com fibra de butiá pelo artista Marco Gotinari em exposição no II Encontro Internacional da Rota dos Butiazais, 2018.	23
Figura 2: Produtos com fibras vegetais. a) Banco de automóvel fabricado com fibra de coco. b) Encostos e para-sol interno de automóvel fabricado com fibra de coco; c) Modelo do ECOLOGY: O UNO “VERDE”; d) Interior do veículo produzido com material PET e bagaço de cana.....	31
Figura 3: Embalagens feitas com resíduos de bagaço de cana-de-açúcar.....	32
Figura 4: Painel aglomerado de casca de amendoim. a) Amostras do painel; b) Detalhe ampliado do painel.	33
Figura 5: Blocos de adobe com resíduos do coco babaçu.....	34
Figura 6: Piso produzido com fibra de tururi ilustrando três possíveis configurações.	34
Figura 7: Painel compósito produzido a partir da casca de arroz; a) Amostra do painel; b) Detalhe do material; c) Amostra do painel sendo usinado.....	35
Figura 8: Produtos desenvolvidos com casca de arroz. a) Potes desenvolvidos com casca de arroz; b) Revestimentos de parede desenvolvidos com casca de arroz.	35
Figura 9: Óculos produzidos com bagaço de malte de cerveja.	36
Figura 10: Tênis Ueno Whatafuck Imperial com solado desenvolvido com resíduos de malte da produção de cerveja artesanal.	36
Figura 11: Produtos desenvolvidos com fibra de coco e látex natural.....	37
Figura 12: Painel acústico produzidos com cascas de sementes de cânhamo.	37
Figura 13: Gráfico expressando a frequência - número de oscilações (ou ciclos) por unidade de tempo (período).	39
Figura 14: Exemplo de sistemas de paredes. a) Exemplo de parede simples; b) Exemplo de parede dupla, com espaço vazio entre elas (ar); c) Exemplo de parede dupla, com material absorvente entre elas.....	41
Figura 15: Estrutura de materiais fibrosos e porosos	42
Figura 16: Produção de crina vegetal década 60. a) Folhas secas sendo preparadas para a produção dos colchões (seta vermelha); b) Colchão de folhas de butiazeiro sendo produzido (seta azul).....	44

Figura 17: Butiazal. a) Butiazal em Tapes, Rio Grande do Sul, Brasil; b) Vista aérea do Butiazal em Tapes, Rio Grande do Sul, Brasil.	45
Figura 18: Distribuição geográfica do gênero Butiá na Argentina (em amarelo-escuro), Brasil (em verde-escuro), Paraguai (em amarelo-claro) e Uruguai (em verde-claro).	46
Figura 19: Distribuição geográfica das espécies de Butiá nos Biomas Mata Atlântica e Pampa no Rio Grande do Sul.	46
Figura 20: Exemplo da palmeira; a) Butiazeiro odorata; b) Inflorescência de Butiá odorata;	47
Figura 21: Flora associada. a) Cacto, com flores delicadas e coloridas se desenvolvem nesse ecossistema; b) Petúnia; c) Bromélia; d) Margarida Branca.	48
Figura 22: Fauna associada: a) Graxaim-do-campo; b) Cambacica; c) Lagarto-teiú; d) Capivara; e) Perereca. f) Saracuru.....	49
Figura 23: Paisagismo, arte e opções turísticas. a) Butiazal em Castillos, Rocha, Uruguai; b) Mural pintado por um artista local na cidade de Castillos, Uruguai; c,d,e) Turismo Rural em Tapes, RS – Rota dos butiazais, indicando a trajeto realizado e as paisagens ao longo do caminho.....	49
Figura 24: Artesanato produzido com diferentes partes do butiazeiro. a,b) Bolsas e potes confeccionados com folhas secas dos butiazeiros; c) Mascara confeccionada com resíduos dos frutos; d) Artesanatos produzido com as folhas secas do butiazeiro.	51
Figura 25: Frutos do butiazeiro. a) Diferentes formatos e cores dos frutos de Butiá; b) Fruto, seta vermelha indicando o perianto, seta azul indicando o exocarpo, seta rosa indicando o mesocarpo, seta amarela indicando a amêndoa.	52
Figura 26: Produtos confeccionados com os resíduos dos frutos. a) Garrafas decoradas com fibra de butiá; b) Capa do bloquinho feita com fibra de butiá; c) Potinho de fibra de butiá produzidos pela artesã Marizete Borges; d,e) Produtos elaborados com farinha da fibra de butiá..	53
Figura 27: Embalagem para ovos produzida com resíduos dos frutos do butiá.	54
Figura 28: Etapas do processo.....	55

Figura 29: Processo de despolpação e obtenção dos resíduos. a) Frutos de butiá medindo aproximadamente 4cm x 4cm, seta amarela indicando a perianto; b) Pesagem dos frutos em balança digital; c) Despoldadeira utilizada no processo, seta vermelha indicando onde são colocados os frutos, seta laranja, indicando onde saem os resíduos, seta amarela indica o local de depósito do resíduo e seta verde indica local onde está sendo depositada a polpa;	57
Figura 30: Processo de preparação do material. a) Resíduos de molho na água, sendo diluídos; b) Resíduos depois de processados.	60
Figura 31: Processo de preparação dos painéis. a,b) Caixas utilizadas como molde na produção dos painéis (seta amarela indicando o tecido); c) Caixa preenchida com os resíduos processados; d) Régua graduada sendo utilizada para mensurar a espessura do material.....	61
Figura 32: Processo de secagem dos painéis.....	61
Figura 33: Desenho técnico dos moldes em acrílico de 3 mm utilizados para a produção dos painéis, um retangular medindo 503mm x 253mm x 35mm e um hexagonal medindo 245mm x 215m x 40mm.....	62
Figura 34: Processo de preparação dos painéis. a) Molde sendo preenchido com resíduos;.....	64
Figura 35: Processo de secagem dos painéis. a) Moldes preenchidos com resíduos secando ao sol; b, c) Painéis retirados dos moldes expostos ao ar livre em diferentes horários	65
Figura 36:Preparação dos corpos de provas. a) Amostras sendo retiradas de diferentes partes do painel com auxílio da serra circular esquadrejadeira; b) Processo de corte em serra fita de bancada; c) Furação dos painéis em furadeira de bancada com uso de serra copo (28mm);.....	66
Figura 37: Ensaio de densidade. a) Amostras utilizadas no ensaio; b) indicação das dimensões; c) Quantificação da massa das amostras.	68
Figura 38: Ensaio de absorção de água e Inchamento. a) Amostras medindo 50mm X 50mm X 30mm utilizadas nos ensaios; b) Amostras sendo pesadas em balança de precisão.	70
Figura 39: Materiais e equipamentos utilizados no ensaio de termografia. a) Termógrafo Testo modelo 890; b) Blocos cerâmicos; c) Soprador Skil modelo 8005.	72

Figura 40: Representação esquemática do ensaio termográfico. a) Esquema da construção da caixa em MDF (Medium Density Fiberboard) de 6 mm com dimensões de H306 x L205 x P510 mm, utilizada para canalizar o calor, indicando a distância do soprador da posição dos blocos cerâmicos; b) esquema indicando a posição do soprador e a distância do termógrafo em relação aos blocos.....	72
Figura 41: Ensaio de termografia em andamento.	73
Figura 42: Materiais utilizados no experimento. a) Painéis PRP utilizados no ensaio.....	74
Figura 43: Esquema do experimento de propagação de chamas. a) Esquema de posicionamento dos equipamentos; b) Gráfico de tempo x distância percorrida pela chama até o painel.	75
Figura 44: Esquema utilizado no ensaio de queima do painel.	76
Figura 45: Microscopia eletrônica dos resíduos dos frutos de butiá. a) Fibras entrelaçadas, envoltas pelos resquícios de polpa seca provenientes do processo de despolpa; b) Detalhe mostrando resquícios de polpa seca.....	77
Figura 46: Microscopia eletrônica dos resíduos dos frutos de butiá. a,b) Fibra mostrando os canais de comunicação entre as células (quadrado amarelo)...	78
Figura 47: Microscopia eletrônica dos resíduos dos frutos de butiá. a,b) Fibras mostrando os cristais multifacetados, constituídos por sílica, que compõem um estegmato que circundam a superfície dos feixes condutores.....	78
Figura 48: Gráfico das Análises termogravimétricas dos resíduos dos frutos de butiá. Sobreposição das Curvas de TG dos resíduos dos frutos de butiá com aquecimento de 10 °C min ⁻¹ , de 30 a 700 °C.....	79
Figura 49: Espectros de infravermelho dos resíduos (casca e fibras) dos frutos de butiá indicando as bandas de absorção.....	81
Figura 50: Painel retirado da caixa revestida com tecido etamine. a) Painel retirado da caixa que foi revestida com tecido mostrando o acabamento superior; b) Acabamento lateral indicando pelas setas azuis e a irregularidade da forma.	84
Figura 51: Painel modelado em caixa sem ser forrada com o tecido. a) Painel mostrando o acabamento superior e os cantos; b,c) Vista lateral do painel retirado da caixa sem o tecido mostrando o acabamento lateral e superior (setas amarelas e azuis);.....	85

Figura 52: Painéis após o processo de secagem. a) Painel hexagonal depois do processo de secagem dentro do molde; b) Painel retangular depois do processo de secagem dentro do molde; c,d) Painéis indicando as dimensões finais.....	86
Figura 53: Painéis sendo mensurados. a) Painel PRP, sendo mensurado indicando a dimensão de 26mm; b) painel PRNP sendo mensurado indicando a dimensão de 32mm.....	87
Figura 54: Painéis expostos lado a lado para mostrando os diferentes tons de marrons de cores após a secagem.	87
Figura 55: Texturas dos painéis. a) Vista superior do painel PRNP mostrando o aspecto rustico do painel; b) Vista superior do painel PRP mostrando o aspecto mais homogêneo do painel.	88
Figura 56: Preparação dos corpos de prova. a) Painel após os cortes curvos (setas amarelas) realizados com auxílio da serra fita. b) Amostras indicando o acabamento (setas amarelas) após o corte com auxílio da serra fita; c) Vista superior das amostras feitas com auxílio da serra copo; d) Corpos de provas para serem utilizados no tudo de impedância após serem lixadas;	89
Figura 57: Gráficos de absorção acústica. a) Gráfico de absorção acústica das amostras dos painéis PRP25 e a melamina; b) Gráfico de absorção acústica das amostras painéis PRP30; c) Gráfico de absorção acústica das amostras painéis PRNP30.	93
Figura 58: Gráficos de absorção acústica dos painéis PRP, PRNP e da melamina.....	95
Figura 59: Blocos cerâmicos antes do início do ensaio e suas respectivas imagens termográficas. a) Imagem real dos blocos; b) Imagem termográfica dos blocos sem cobertura em temperatura ambiente indicando os pontos de medição; c) Imagem real dos blocos com cobertura (indicado pela seta branca) e sem cobertura; d) Imagem termográfica dos blocos com e sem cobertura indicando os pontos de medição.....	97
Figura 60: Imagens termográficas dos blocos em cada tempo pré-determinado. a) Imagem termográfica após 5 minutos; b) Imagem termográfica após 10 minutos; c) Imagem termográfica após 15 minutos; d) Imagem termográfica após 30 minutos; e) Imagem termográfica após 45 minutos.....	98
Figura 61: Gráfico da variação de temperatura com o tempo.	99

Figura 62: Ensaio de queima do Painel PCA; a) Início do processo de queima; b) Início de queima do painel com o maçarico a 150mm; c) Maçarico a 20mm do painel e a seta vermelha indicando a fumaça gerada; d) Painel após a chama ser desligada; e) Parte posterior do painel..... 100

Figura 63: Ensaio de queima do Painel PSA. a) Início do processo de queima; b) Início de queima do painel com o maçarico a 150mm; c) Maçarico a 20mm do painel e a seta vermelha indicando a fumaça gerada; d) Painel após a chama ser desligada; e) Parte posterior do painel mostrando que o fogo perfurou o painel. 100

Figura 64: Resultado do experimento de flamabilidade nos painéis após 1min50 s. a) Parte frontal dos painéis indicando o resultado da queima (PSA, seta amarela, PCA, seta vermelha), seta azul indicando o furo resultante da queima; b) Vista posterior dos painéis (PSA, seta amarela, PCA, seta vermelha), seta azul indicando o furo resultante da queima. 101

Figura 65: Resultado do experimento de flamabilidade nos painéis após 60min. 102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Posição das bandas e atribuições dos espectros de FTIR das amostras analisadas.	82
Tabela 2: Valores dos resultados obtidos na composição química e umidade dos resíduos dos frutos de butiá.	83
Tabela 3: Valores obtidos no ensaio de densidade.	90
Tabela 4: Valores obtidos nos ensaios de Absorção de água (AA) e inchamento (I) dos painéis.	91
Tabela 5: Resultado dos ensaios de absorção acústica	94
Tabela 6: Coeficiente de absorção sonora de materiais porosos/fibroso.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

ASTM - American Society for Testing and Materials BSE - *Backscattered Electron*

CT – Centro Tecnológico

EDS - Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X GMAP - Grupo de mecânica aplicada

Hz- Hertz

LACER - Laboratório de Materiais Cerâmicos

LAPRON - Laboratório de Processamento Mineral

LdSM - Laboratório de Seleção de Materiais

LVA - Laboratório de Vibrações e Acústica

LAPAM - Laboratório de Painéis de Madeira

MDF - *Medium Density Fiberboard*

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

NBR - Normas Brasileiras

RS - Rio Grande do Sul

TGA - Análise Termogravimétrica

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFPEL - Universidade Federal de Pelotas

UFSM - Universidade Federal de Santa Maria

2D - Bidimensional

3D – Tridimensional

λ - Índice de condutividade térmica

Ω - Porosidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	24
1.3	OBJETIVOS.....	24
1.3.1	Objetivo Geral.....	24
1.3.2	Objetivos Específicos.....	24
1.4	Justificativa.....	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1	RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E A OPORTUNIDADE DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS.....	27
2.2	CONFORTO TÉRMICO E ACÚSTICO.....	38
2.3	PALMEIRAS.....	42
2.3.1	Butiazeiros e Butiazais.....	43
2.3.2	Butiá (fruta).....	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	55
3.1	MATERIAL.....	56
3.1.1	Processo de obtenção dos resíduos.....	56
3.2	MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	58
3.2.1	Microscopia eletrônica de varredura - MEV / EDS.....	58
3.2.2	Análise Termogravimétrica – ATG.....	58
3.2.3	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR.....	59
3.2.4	Composição Química e umidade.....	59
3.3	FABRICAÇÃO dos painéis.....	59
3.3.1	Produção dos painéis - Teste 1.....	59
3.3.3	Produção dos painéis - Teste 2.....	63
3.3.4	Preparação dos corpos de provas.....	65
3.4	MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS.....	67
3.4.1	Densidade aparente.....	67
3.4.2	Absorção de água e Inchamento em espessura.....	69
3.4.3	Absorção acústica.....	70
3.4.4	Termografia de infravermelho.....	71
3.4.5	Flamabilidade.....	74
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DOS FRUTOS DE BUTIÁ.....	77
4.1.1	Microscopia Eletrônica de Varredura - Mev.....	77
4.1.2	Análise Termogravimétrica - TGA.....	79

4.1.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR	80
4.1.4 Composição Química e umidade.....	82
4.2 MODELAGEM DOS PAINÉIS.....	84
4.2.1 Produção dos painéis - Teste 1	84
4.2.2 Produção dos painéis – Teste 2	85
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS	90
4.3.1 Densidade aparente	90
4.3.2 Absorção de água e Inchamento em espessura.....	91
4.3.3 Absorção Acústica	92
4.3.4 Termografia de infravermelho	96
4.3.5 Flamabilidade.....	99
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
5.1 CONCLUSÃO.....	103
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXOS.....	116

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço do tempo, o desenvolvimento econômico e tecnológico transformou a utilização dos recursos naturais em recursos industriais. Com a criação de novas necessidades e exigências dos consumidores, e o aumento da sofisticação dos produtos, os materiais naturais disponíveis não deram conta de suprir a demanda. Assim, passou-se a exigir alto investimento em novas tecnologias no que se refere ao desenvolvimento de materiais artificiais (Barauna *et al.*, 2017).

Mudanças sociais positivas aconteceram, como o aumento da expectativa de vida, cuidados médicos e educação, por exemplo. De acordo com Braungart e McDonough (2014), importantes avanços como a eletricidade e as telecomunicações elevaram o patamar de bem-estar e conforto. Os autores destacam que, apesar dos benefícios, aconteceram omissões durante a Revolução Industrial que resultaram em problemas severos ao meio ambiente. Como resultado desse avanço constante, a alarmante produção de lixo, o descarte de produtos e resíduos, tornam-se uma problemática que acomete contra os limites dos ecossistemas.

Dentro do contexto de crescimento e desenvolvimento, encontra-se a produção agroindustrial que, com aumento populacional e para dar conta da demanda, apresenta significativos avanços no desempenho do agronegócio. Conseqüentemente, envolve a intensificação no consumo de insumos, resultando no aumento do volume de resíduos.

Um dos problemas associados à agroindústria, é a considerável quantidade de resíduos gerados durante o processamento da matéria-prima, que incluem o desperdício no uso de insumos, as perdas entre a produção e o consumo, e os materiais que são gerados ao longo da cadeia agroindustrial; (JENDIROBA, 2006; LEGASPE, 2006). Segundo Manzini *et al.* (2002), e Costa Filho *et al.* (2017), essa questão é característica a qualquer campo produtivo e podem apresentar elevadas falhas na disposição final e potencial poluente, significam também, perdas de biomassa e de nutrientes de alto valor.

Segundo Matos (2014), o beneficiamento de atividades agroindustriais como: processamento de couro, fibras, alimentos, madeira, produção da indústria sucroalcooleira, estão vinculados diretamente à geração de produtos e, por consequência, à geração de resíduos. O aproveitamento destes é uma oportunidade de desenvolvimento de subprodutos com valor agregado, e utilização sustentável (COSTA FILHO *et al.* 2017).

Novos cenários se formam em relação ao design de produtos e a utilização de materiais, mediante as possibilidades de esgotamento dos recursos naturais do planeta: adoção de estratégias de diminuição dos impactos ambientais, uso de matérias-primas renováveis, redução dos impactos causados pelos processos produtivos, reaproveitamento de resíduos, redesenho de produtos, produtos sustentáveis, entre outros (BARAUNA, *et al.*, 2017).

Uma compreensão da necessidade de mudança de conceitos tem influenciado a economia e a gestão de materiais nas organizações, isso pode ser verificado a partir dos princípios para a sustentabilidade¹, que ganharam força, gerando uma propensão, na sociedade, para um consumo mais consciente (ABRAMOVAY, 2012; BARAUNA, *et al.*, 2017).

Temos, como exemplo, a fundação “*Cradle to Cradle*” (C2C), com a teoria “do berço ao berço”, que surge em contraposição a produtos desenvolvidos com o ciclo de vida considerada ‘do berço ao túmulo’. Essa expressão descreve o processo linear de extração, produção e descarte. Já, em uma indústria C2C, os recursos são geridos de forma circular de criação e reutilização, em que ao final do ciclo de vida do material, este torna-se um novo ‘berço’. Assim, substitui-se o modelo linear por sistemas cíclicos, possibilitando a reutilização dos materiais em fluxos seguros e saudáveis tanto para a natureza quanto aos seres humanos (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2014; GEGER; TENNENBAUM, 2017).

Outra tendência é a logística reversa: 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 (Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010).

¹ A definição de sustentabilidade mais citada apareceu em conexão com o termo "desenvolvimento sustentável" no relatório Brundtland "Nosso futuro comum", de 1987: As necessidades das gerações atuais devem, portanto, ser atendidas de tal maneira que as possibilidades das gerações futuras, suas necessidades satisfazer, não ser restringido.

O *Slow Design*, uma vertente do *Slow Movement* - abordagem que defende a desaceleração do ritmo da vida por meio de mudanças culturais - e contrárias aos movimentos *fast* (como *fast food*, *fast fashion*); possui como base a sustentabilidade, considera valores como o bem-estar individual, social e do meio ambiente no processo de criação. Para isso, utiliza matérias-primas de produção local, valoriza a reciclagem, a mão de obra artesanal, e produção de produtos longevos (MENA, 2018).

A economia distribuída, que segundo Caccere e Santos (2017), promove a inovação, por meio de pequenas unidades fabris locais conectadas umas às outras, fomentando o desenvolvimento sustentável, o aumento da diversidade social e da qualidade de vida, maximizando o capital social e o espírito coletivo.

De modo geral, observa-se que estas tendências têm o objetivo de adequar a economia de materiais a um padrão ambiental e social mais eficiente diante de um mercado (BARAUNA, *et al.*, 2017). Percebe-se que, independentes da área do conhecimento, estamos enfrentando um processo de ressignificação de valores em busca de soluções tangíveis, a fim de encontrar novas perspectivas e metodologias de trabalho.

As questões discutidas nesta tese surgiram a partir de experiências em eventos promovidos pela Rota dos Butiazais², que é um espaço de integração que une Brasil, Uruguai e Argentina, promove a valorização, a conservação ambiental e o uso sustentável da biodiversidade associada aos butiazais. É uma rede que tem como objetivo articular conhecimentos científicos e populares com a oferta de serviços ecossistêmicos e a geração de renda em territórios onde ainda existem ecossistemas de butiazais ou onde o valor histórico e cultural do butiá se destaca, nos biomas Pampa, Mata Atlântica e Cerrado (BARBIERI, *et al.* 2017).

Os butiazeiros compreendem várias espécies com distribuição na América do Sul, destacam-se pelo valor econômico, tanto no comércio de frutas frescas, como na produção de matérias-primas para a agroindústria e artesanatos. O fruto, conhecido como butiá, possui textura firme e pode ser consumido *in natura*, utilizado como acompanhamento da cachaça, na produção

² Coordenada pela Embrapa Clima Temperado, que conta com apoio do CNPq, MMA (Ministério do Meio Ambiente) e MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações).

de sucos, geleias, sorvetes, bolos, licores (THIEL, 2019). No preparo de alimentos, é aproveitada a polpa do fruto, sobrando as fibras e o caroço, sendo estes utilizados como ração para animais, artesanato ou descartados.

No decorrer dos eventos, acontecem mesas redondas e palestras que apresentam possibilidades de conservação, manejo e uso sustentável dos butiazeiros, além de destacar sua importância para o desenvolvimento e integração dos países do Cone sul. Também são realizadas oficinas com as folhas e os resíduos do butiá.

Após a participação em uma oficina de produção de “máscaras” (Figura 1) com a utilização dos resíduos dos frutos, e da visita à feira, foi possível conhecer o artesanato desenvolvido com diferentes partes da planta, assim surgiu a oportunidade de trabalhar com este material.

Figura 1: Máscaras confeccionadas com fibra de butiá pelo artista Marco Gotinari em exposição no II Encontro Internacional da Rota dos Butiazais, 2018.



Fonte: Autora, (2023).

Na visão de Manzini (2008), é necessário evoluir de sistemas lineares de produção (extração, a produção, a distribuição, o consumo e a destinação final dos resíduos), para processos que fechem o ciclo de uso dos recursos matérias.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

É possível utilizar os resíduos dos frutos de butiá no desenvolvimento de painéis térmicos e acústicos modulares?

Painéis modulares produzidos com resíduos dos frutos de butiá podem corresponder positivamente à conforto térmico e acústico? Podem ser fabricados?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Produzir painéis modulares a partir dos resíduos dos frutos do butiá e caracterizar suas principais propriedades direcionando seu uso para fins de isolamento termoacústico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar sobre uso de resíduos de fibras vegetais no desenvolvimento de produtos, conforto térmico e acústico, palmeiras, butiazeiros e butiás;
- Caracterizar os resíduos dos frutos de butiá utilizando técnicas analíticas apropriadas;
- Desenvolver uma proposta para produção de painéis modulares com os resíduos dos frutos de butiá utilizando moldes com diferentes formatos e espessuras;
- Caracterizar as principais propriedades dos painéis produzidos em escala piloto (densidade, absorção de água e inchamento, absorção acústica, termografia de infravermelho e flamabilidade).

1.4 JUSTIFICATIVA

Na região Sul do Brasil, o butiá faz parte da cultura local de comunidades que complementam suas rendas com produtos artesanais, da agroindústria e do turismo rural; são as associações, cooperativas, pequenos agricultores, localizados em diferentes regiões do estado. Assim, criar um produto pensando em escala de produção industrial não seria viável no quesito relacionado a custos de logística de recolhimento e armazenamento destes resíduos.

Desenvolver condições para que o potencial dos recursos locais se transforme em benefícios para uma comunidade representa um desafio, pois é necessário encontrar soluções inovadoras que contribuam para tornar visível à sociedade a história por trás do artefato.

Lia Krucken (2009) ressalta que a valorização da identidade local de produtos corrobora com a preservação e promove a conservação da biodiversidade local, pois desenvolver objetos com características únicas e distintivas de uma determinada região ou comunidade, envolve reconhecer e evidenciar os elementos culturais, históricos e geográficos que o tornam especial e autêntico. Salienta também que “criar condições para que o potencial dos recursos locais se converta em benefício real e durável das comunidades representa um grande desafio nas economias emergentes” (KRUCKEN, 2009, pág. 22).

A valorização de territórios a partir de produtos, segundo Silva e Arruda (2017), já ocorre no Brasil, como no caso dos famosos Doces de Pelotas, das Cachaças de Luís Alves e de Salinas, do Café do Cerrado Mineiro, dos Vinhos do Vale dos Vinhedos e do Queijo do Serro em Minas Gerais, entre outros que trazem características dos territórios de origem, também das comunidades que os originaram. A identidade territorial é um fator determinante de diferencial competitivo para as empresas. Cada produto que usamos provém de um conjunto de atividades que representa e simboliza um recurso local ou regional, carregando em si elementos combinados que determinam sua essência e personalidade.

Assim, produtos provenientes dos butiazeiros, indicam potencial para se destacar com características singulares, pois as palmeiras são reconhecidas por

seu alto valor paisagístico, de biodiversidade e histórico-cultural. São fonte de renda para as comunidades habitantes da área de Castillos, em Rocha (Uruguai), Santa Vitória do Palmar (Brasil), entre outras localidades (RIVAS; BARBIERI, 2014).

Criar artefatos em escala artesanal que podem ser desenvolvidos pelas comunidades locais, além de beneficiar o meio ambiente, tende à valorização do território, ao fortalecimento da identidade dos produtos locais, proteger a sócio biodiversidade que os originam e assim influenciar positivamente a economia circular.

Os propósitos apresentados vão de encontro aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)³, pois esta pesquisa se enquadra na busca da promoção do crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno, produtivo e trabalho decente para todos, bem como na promoção da agricultura sustentável.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar os resíduos dos frutos de butiás resultantes do processo de despolpa, elaborar moldes, produzir painéis modulares com diferentes espessuras, bem como determinar e analisar as propriedades físicas, acústicas e térmicas.

³ Representam um plano de ação global para eliminar a pobreza extrema e a fome, oferecer educação de qualidade ao longo da vida para todos, proteger o planeta e promover sociedades pacíficas e inclusivas até 2030, e compreendem 17 objetivos e 169 metas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo apresenta-se o contexto teórico no qual a pesquisa se insere. A revisão bibliográfica aborda temas relacionados ao uso de resíduos da agroindústria no desenvolvimento de produtos, também o conforto térmico e acústico. Na sequência realiza-se uma breve descrição sobre os butiazais em geral, suas características e seus principais usos. Por fim, detalham-se informações sobre a fruta, o butiá, e suas características e utilizações. As discussões, aqui levantadas, foram utilizadas como embasamento para as conclusões dos estudos práticos.

2.1 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E A OPORTUNIDADE DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Para um entendimento adequado dos termos abordados sobre a agropecuária, agronegócio e resíduos sólidos, são apresentados alguns conceitos elementares. De acordo com a FEE - Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser (2015) a agropecuária contempla as seguintes atividades:

- Agricultura - cultivo de cereais, cana-de-açúcar, soja, frutas, café e outros produtos das lavouras temporárias e permanentes;
- Pecuária - criação de bovinos, suínos, aves e outros animais e produção dos produtos derivados na propriedade rural;
- Silvicultura e exploração florestal - produção de lenha, madeira em tora, madeira para celulose e outros produtos da exploração florestal;
- Pesca - produção de pescado fresco.

Juntamente com a agropecuária, a indústria extrativa constitui o Setor Primário da economia, que são responsáveis pelo fornecimento de um conjunto de matérias-primas para outros setores de atividade econômica e de produtos finais (FEE, 2015).

O Brasil é reconhecidamente competitivo na sua produção agropecuária; em 2019, a cadeia de agronegócio no país gerou 21,4% do PIB total do país

(TOOGE, 2020) e o setor agrícola tem grande importância neste contexto, com a geração de empregos, alimentos e riquezas. De acordo com Feix e Leusin Junior (2019), a produtividade foi o principal vetor desse progresso. Os agricultores valem-se de novas técnicas de cultivo, como o manejo do solo, plantio direto, agricultura de precisão etc., e investem em inovações tecnológicas modificando seus modelos de organização de produção.

No entanto, esse crescimento também tem consequências negativas - os resíduos. De acordo com a FAO (do inglês *Food and Agriculture Organization*), as grandes quantidades de resíduos que são geradas pelo setor agroindustrial, podem atingir aproximadamente um terço da parte comestível dos alimentos produzidos globalmente, trazendo impactos negativos para o meio ambiente (FAO, 2011).

A Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define resíduos sólidos:

“Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem resultante de atividade humana em sociedade, cuja a destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Registrada (NBR) 10.004/2004, define os resíduos sólidos como:

“Resíduos nos estados sólido e semissólido, aqueles que resultam de atividades de origem: industrial, domiciliar, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004).

Com a sociedade cada vez mais ávida em consumir, a geração de resíduos torna-se uma das principais preocupações ambientais. A produção excessiva de resíduos e sua disposição inadequada que acabam em lixões ou aterros, ocasionando degradação ambiental, também oferecem riscos à saúde

humana. Segundo Tuoto (2009), no Brasil, apenas uma parcela desses resíduos é reaproveitada visando o âmbito social, ambiental e econômico.

De acordo com Leão e Sartor (2006), de certa maneira, todos os produtos são descartados em algum ponto de sua vida. Os autores complementam que o ideal seria o descarte ser feito sem causar maiores impactos ao meio ambiente. Entre as opções para minimizar os fatores impactantes, estão: redução na fonte, reciclagem, compostagem, combustão e disposição em aterros sanitários (MERSONI; REICHERT, 2017; SZIGETHY; ANTENOR, 2020).

Leão e Sartor (2006), destacam que o peso total dos resíduos sólidos urbanos gerados no mundo, aproximadamente 60%, são representados por materiais provenientes de recursos agroindustriais, como, por exemplo, papel, papelão, madeira, folhas, galhos de árvores e uma vasta gama de resíduos agrícolas. Dessa forma, a quantidade de resíduos sólidos oriundos das indústrias de beneficiamento agrícola se torna cada vez mais problemática.

Diante desse contexto, o aproveitamento de resíduos agroindustriais é uma oportunidade de desenvolvimento de subprodutos, materiais alternativos, entre outros. Reaproveitar esses rejeitos criando e experimentando novas possibilidades de uso, é caminhar rumo à sustentabilidade buscando novas soluções para velhos problemas.

Atualmente, devido a preocupações ambientais, importante valor tem-se dado aos resíduos de fibras vegetais, pois, segundo Jayasekara e Amarasinghe (2010), no passado as fibras naturais duras como as do coco (*Cocos nucifera*), por exemplo, eram utilizadas na fabricação de produtos de baixo valor agregado, como na cordoaria, tapeçaria, fabricação de estofamento de automóveis. Até que a indústria de polímeros sintéticos assumiu a produção desses bens.

Outro exemplo, são as folhas dos butiazeiros que, na primeira metade do século XX, eram usadas para produzir uma fibra chamada de crina vegetal, utilizada como enchimento de colchões e móveis estofados (RIVAS; BARBIERI, 2014). Segundo as autoras, foi uma atividade muito lucrativa, visto que fabricava diversos utensílios domésticos, solados de alpargatas e tapetes. Na década de 1960, devido à substituição por fibras sintéticas, deixou de ser importante.

De acordo com Silva (2009) e Castro (2013) a indústria automobilística é o principal setor que faz uso de fibras vegetais na forma de compósitos⁴, com objetivos de substituir recursos não renováveis, além de possibilitar a fabricação de peças mais leves e mais seguras.

Entre as empresas que trabalham com resíduos agrícolas, destaca-se a POEMATEC, que atua no estado do Pará; essa empresa surgiu do POEMA (Programa Pobreza e Meio Ambiente na Amazônia, um programa de pesquisa e desenvolvimento da Universidade Federal do Pará). A POEMATEC usa um compósito de látex e fibra de coco para a fabricação de assentos e para-sois, entre outras peças que equipam veículos Mercedes-Benz, produzidos no Brasil. A empresa *DaimlerChrysler* do Brasil, que investiu no projeto, já recebeu vários prêmios pela atuação no projeto POEMA, seja por sua contribuição social ao meio ambiente ou destaque de marketing (CAMPANALI, 2002).

Em 2010, a Fiat apresentou o Uno *Ecology*, um conceito repleto de materiais alternativos, reutilizáveis e não poluentes. Peças de acabamento interno e externo do veículo, como para-choques, painel, painéis de porta e revestimentos externos foram produzidas com bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Apresentou também o retorno ao uso de estofamento feito de fibra de coco e látex (a utilização dos bancos em fibra de coco e látex evita o uso de aproximadamente 7 quilos de poliuretano no veículo); e traz ainda revestimento dos bancos e tapetes com tecidos a partir de PET reciclado; utiliza-se cerca de 30 garrafas por veículo (CARUSO, 2012).

Na Figura 2 é apresentado um modelo de banco de automóvel produzido com fibras de coco e o interior do veículo da Fiat *Ecology*, O Uno “Verde”.

No Brasil, desde o início da década de 2000, compósitos com fibras vegetais têm sido utilizados na indústria automotiva, e indica que estes materiais podem estar presentes em diferentes componentes, como no interior de veículos e até mesmo nas estruturas (CALEGARI, 2018).

⁴ Os compósitos são materiais que possuem pelo menos dois componentes ou duas fases, com propriedades físicas e químicas nitidamente distintas, em sua composição.

Figura 2: Produtos com fibras vegetais. a) Banco de automóvel fabricado com fibra de coco. b) Encostos e para-sol interno de automóvel fabricado com fibra de coco; c) Modelo do ECOLOGY: O UNO "VERDE"; d) Interior do veículo produzido com material PET e bagaço de cana.



a) Fonte: Meio ambiente, (2002); b) Fonte: Castilhos, (2011); c,d) Fonte: Caruso, (2012).

No setor de painéis aglomerados⁵ também estão sendo estudadas a utilização de matérias primas alternativas além da madeira. Segundo Melo (2009), o uso de materiais não convencionais para a fabricação de painéis aglomerados vem ganhando destaque e já é objeto de diversos estudos em várias partes do planeta. De acordo com o autor, além da madeira, as chapas podem incorporar resíduos resultantes de outras atividades, como: bagaço de cana-de-açúcar, papel reciclável, palha de arroz e casca de arroz. Mendes *et al.* (2009), acrescentam ainda, entre os resíduos com potencial para produção de aglomerados, o sabugo de milho, casca de café, mamona, o pseudocaule de bananeira e o caule da mandioca.

⁵ Painéis aglomerados são fabricados a partir de partículas de madeira aglutinadas com aplicação de cola, calor e pressão e são produzidos a partir de madeira de reflorestamento, especialmente eucalipto e pinus (SENAI, 2014).

Exemplos desses estudos são os painéis desenvolvidos com resíduos da cana de açúcar (Figura 3). Esse projeto foi desenvolvido por pesquisadores do Núcleo de Apoio à Pesquisa (NAP) em Materiais para Biosistemas (NAP-BioSMat), sediado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo, em Pirassununga, coordenado pelo professor Juliano Fiorell.

Figura 3: Embalagens feitas com resíduos de bagaço de cana-de-açúcar.



Fonte: Dias, (2014).

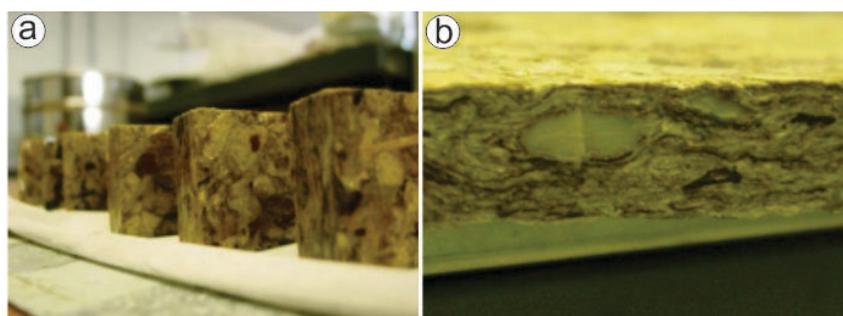
Neste projeto desenvolveram-se embalagens biodegradáveis e desmontáveis para transporte de frutas, hortaliças e bebidas utilizando resíduos de bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana à base de óleo de mamona (DIAS, 2014). Segundo o coordenador do projeto, mesmo a produção sendo em escala laboratorial, as embalagens apresentam potencial para terem um custo inferior aos materiais utilizados atualmente.

Utilizando também o bagaço de cana de açúcar, Ribeiro *et al.* (2019), constatou que o resíduo pode ser utilizado na fabricação de painéis para a indústria moveleira, mas apresenta alta absorção de água em comparação aos painéis de madeira. Assim, essa matéria-prima precisa de tratamento para reduzir a higroscopicidade dos painéis.

Estudos com casca de amendoim (*Arachis hypogaea*) para desenvolvimento de painéis foram realizados por Gatani *et al.* (2013), foram fabricados painéis de partículas aglomeradas de casca de amendoim com resina ureia-formaldeído, prensados à temperatura de 100 C°. Segundo os autores, os

painéis apresentaram um aspecto atrativo de aparência e textura em relação aos seus similares de partículas de madeira (Figura 4). Caracterizaram-se por uma variedade de tons ocres, cujo aspecto natural pode estimular seu uso na arquitetura de interiores. Destaca ainda que apresentaram degradação biológica ocasionada por insetos, se não aplicado um tratamento preservante.

Figura 4: Painel aglomerado de casca de amendoim. a) Amostras do painel; b) Detalhe ampliado do painel.



Fonte: Gatani *et al.* (2013).

Gatani *et al.* (2013), concluíram que as propriedades físico-mecânicas indicam que o material apresenta um potencial de utilização em ambientes internos de residências, construções agrícolas, nos setores moveleiro e decorativo, para aplicação como revestimento de superfícies. Destacaram também que a resina PU de mamona mostrou-se eficiente na atuação como produto impermeabilizante.

No caso dos resíduos do coco babaçu (*Orbygnia phalerata Mart*), estudados por Machado *et al.* (2017) produzindo painéis aglomerados, intercalando a quantidade de epicarpo (EP) e endocarpo (EN) da fruta, aglutinados com resina poliuretana bi componente à base de óleo de mamona, não apresentaram bons resultados, não atenderam aos valores mínimos de propriedades físicas, exigido pelas normativas, mas apresentaram excelente desempenho mecânico, especialmente o epicarpo (EP) do coco babaçu.

Já a adição dos resíduos do coco babaçu para fabricação de blocos de adobe, estudo realizado por Amaral (2017), apresentaram benefícios e resultados satisfatórios atendendo a critérios da Norma Brasileira da Construção com Adobe, com resultados adequados quanto a peso, coesão e resistência mecânica a compressão (Figura 5).

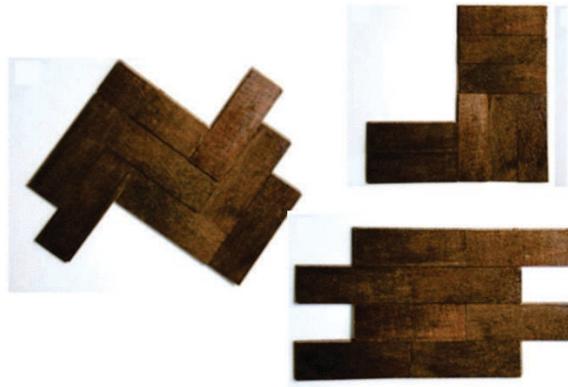
Figura 5: Blocos de adobe com resíduos do coco babaçu.



Fonte: Amaral, (2017).

A partir dos resíduos da fibra de tururi, Oliveira e D'Almeida (2014) tiveram como objetivo o estudo da viabilidade técnica de uso do compósito de fibra de tururi (*Manicaria saccifera*) e resina à base de óleo de mamona na fabricação de pisos e revestimentos, em que resultados apontaram que o compósito produzido apresenta resistência ao desgaste abrasivo, tornando-o um material apto à aplicação em pisos e revestimentos (Figura 6).

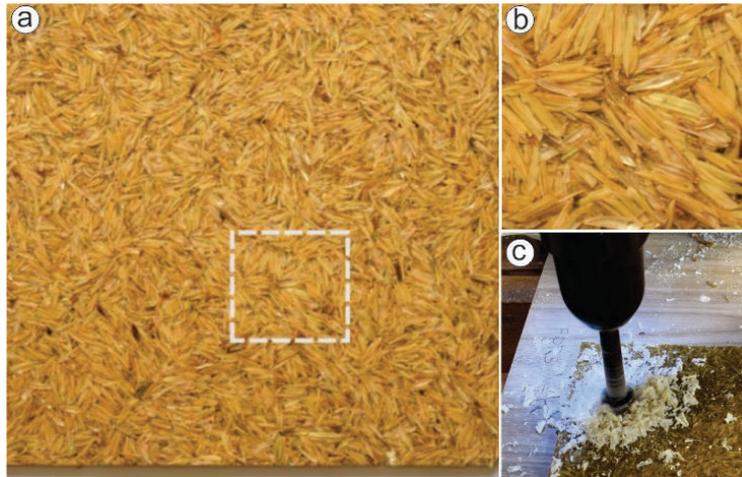
Figura 6: Piso produzido com fibra de tururi ilustrando três possíveis configurações.



Fonte: Oliveira e D'Almeida, (2014).

Outro estudo realizado com resíduos da agroindústria foi desenvolvido por Calegari (2018), a partir da casca de arroz com matriz à base de resina poliéster insaturada e com potencial para utilização em produção de móveis (Figura 7). O material apresentou predominantemente a cor marrom, textura levemente rugosa e um leve brilho. Segundo a autora, essas características remetem a naturalidade dos materiais ecológicos e sustentáveis.

Figura 7: Painel compósito produzido a partir da casca de arroz. a) Amostra do painel; b) Detalhe do material; c) Amostra do painel sendo usinado.



Fonte: Calegari, (2018).

A empresa Tailandesa Sonite, que trabalha com design de superfície e de interiores, fabrica seus produtos a partir de materiais alternativos como a casca de arroz. Nos produtos desenvolvidos pela empresa - ladrilhos, objetos e acessórios – um destaque das peças é a casca de arroz que se encontra visível em todas as versões do produto (Figura 8).

Figura 8: Produtos desenvolvidos com casca de arroz. a) Potes desenvolvidos com casca de arroz; b) Revestimentos de parede desenvolvidos com casca de arroz.



Fonte: Sonite, (2020).

Outro exemplo de aproveitamento de resíduos são os oriundos de cervejarias. A Cervejaria Colorado, localizada em Ribeirão Preto (SP), em parceria com o estúdio de design *Leaf*, desenvolveu dois modelos de óculos com o bagaço de malte (BEEAR ART, 2017). A empresa TEXO, de Curitiba (PR), que desenvolve produtos para um público cervejeiro, também criou três modelos de óculos utilizando bagaço de malte de cerveja (Figura 9). Segundo a TEXO

(2019) é uma peça artesanal, em que cada peça tem uma história e características únicas.

Figura 9: Óculos produzidos com bagaço de malte de cerveja.



Fonte: TEXO, (2019).

O tênis *Ueno Whatafuck Imperial*, criado em parceria pelas empresas curitibanas *Whatafuck Hamburgueria* e *Öus Brasil*, tem seu solado desenvolvido com malte reutilizado da produção de cerveja artesanal (Figura 10). Segundo Adnews (2018), o bagaço é coletado após a produção da bebida e mesclado com o látex para a criação do solado.

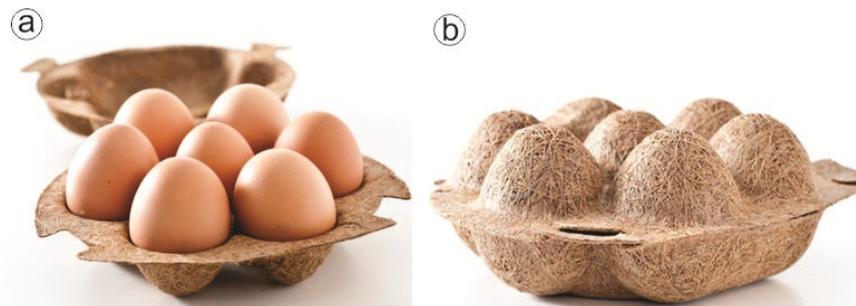
Figura 10: Tênis Ueno Whatafuck Imperial com solado desenvolvido com resíduos de malte da produção de cerveja artesanal.



Fonte: Adnews, (2018).

A empresa *Enkev natural fibers*, fabrica produtos moldados com materiais naturais (Figura 11), por exemplo, a fibra de coco, o cânhamo, bambu, entre outros. No caso da fibra de coco, desenvolveu a linha COCOFORM que, segundo a empresa, surgiu das necessidades de clientes e parceiros para encontrar soluções sustentáveis para embalagens (ENKEV, 2020).

Figura 11: Produtos desenvolvidos com fibra de coco e látex natural.;
a,b) Embalagens de ovos da linha COCOFORM.



Fonte: ENVKEV, (2020).

O *Aotta studio* de design, localizada na Rússia, utiliza matéria-prima que em geral são resíduos descartados para compor duas peças. Produtos e painéis acústicos produzidos com cascas de sementes de cânhamo e acículas de pinheiros, em que a forma da matéria-prima natural original é preservada criando um padrão de superfície exclusivo (Figura 12).

Figura 12: Painel acústico produzidos com cascas de sementes de cânhamo.



Fonte: Aotta studio, (2020).

Diante do exposto, constata-se que produtos com materiais lignocelulósicos estão sendo estudados e aplicados nos setores da indústria, mobiliário, utensílios domésticos, design de superfície e de interiores, entre muitos outros não citados aqui.

A produção em escala de produtos com esses materiais é recente, com exceção da indústria automobilística que foi a pioneira a empregar esse tipo de material, ainda necessitam de estudos referentes à logísticas, obtenção da matéria prima e custos, uma vez que tais informações são pouco abordadas nas pesquisas.

2.2 CONFORTO TÉRMICO E ACÚSTICO

Um ambiente agradável está relacionado às condições de luminosidade, acústica e temperatura. É uma condição psicológica relacionada a satisfação e envolve parâmetros influenciados por processos físicos e fisiológicos (ASHRAE 2017). A qualidade térmica do ambiente está relacionada ao consumo de energia elétrica, e à eficiência energética associada a materiais de fontes renováveis, que permitam criar ambientes termicamente confortáveis e busquem satisfazer as necessidades de conforto, é uma alternativa que ajuda a otimizar a sustentabilidade nos ambientes. Algumas formas de analisar a eficiência, relacionada ao conforto térmico e acústico dos materiais, são conhecendo o seu índice de absorção acústica, podendo ser usado também o auxílio da termografia de infravermelho (JOBIM, 2018).

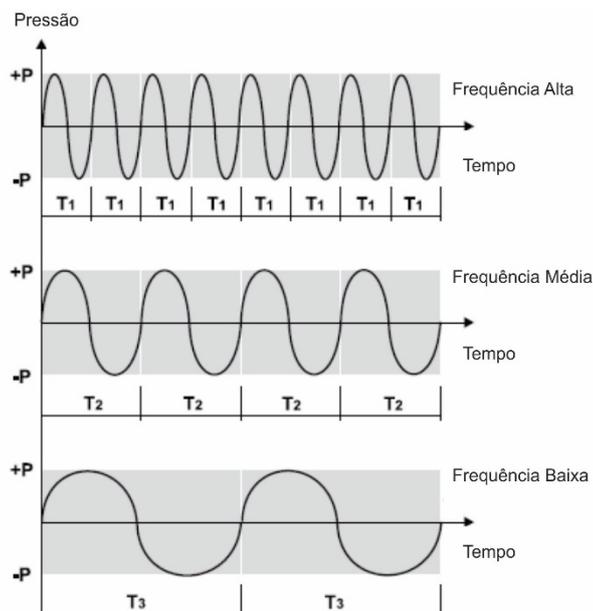
A termografia infravermelha é uma técnica que consiste na captação de imagens de calor, os termogramas, são as imagens térmicas resultantes da radiação infravermelha emitida pelo objeto alvo. A radiação infravermelha ao ser captada é transformada através da câmera, infravermelha, em níveis visíveis de imagem, por meio da faixa infravermelha do espectro eletromagnético (ABNT, 2021). Segundo Mendonça (2005), todos os objetos emitem radiação infravermelha, e esta intensidade da radiação depende de dois fatores: a temperatura do objeto e a emissividade (capacidade do objeto de emitir radiação eletromagnética). Quanto mais quente está o objeto, maior a radiação.

A absorção acústica é a ciência do som, incluindo sua geração, transmissão e efeitos. O som é um evento vibratório que resulta de oscilações

da pressão no ar, é a sensação auditiva que os ouvidos são capazes de detectar, sendo definido como uma variação da pressão ambiente ou onda sonora que se propaga no ar (BISTAFA, 2011; DE SOUZA, *et al.*, 2012).

Cada som se particulariza por três aspectos físicos essencialmente - frequência, intensidade e timbre. A frequência (f) é a número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som (DE SOUZA, *et al.*, 2012). Uma onda sonora em propagação é o número de ondas que passam por um determinado referencial em um intervalo de tempo. A unidade de frequência (SI) é em ciclos por segundo, ou Hertz (Hz) (Figura 13).

Figura 13: Gráfico expressando a frequência - número de oscilações (ou ciclos) por unidade de tempo (período).



Fonte: Carvalho, (2006).

Segundo De Souza *et al.* (2012), cada fonte sonora tem sua capacidade própria de vibrar em determinada faixa de frequência. Para ser perceptível ao ouvido humano, as frequências precisam estar entre 20 e 20.000 Hz. As frequências mais altas, com maior número de oscilações temporais, correspondem aos sons mais agudos, enquanto as frequências mais baixas, com menor número de oscilações temporais, aos sons mais graves (Quadro 1).

Quadro 1: Classificação das ondas sonoras quanto à frequência

Frequência	Hz	Classificação
Baixas frequências	20 a 200	Sons graves
Médias frequências	200 a 2000	Sons médios
Altas frequências	2000 a 20.000	Sons agudos

Fonte: Adaptada de Carvalho, (2006).

A intensidade do som é a quantidade de energia inclusa no movimento vibratório. Essa intensidade se traduz com uma maior ou menor amplitude na vibração ou na onda sonora. A intensidade sonora (medida em decibéis) é definida como Nível de Intensidade Sonora (NIS) (BISTAFA, 2011; DE SOUZA, *et al.*, 2012).

Já o timbre nos permite reconhecer a fonte geradora do som, por exemplo: tocar a mesma nota com a mesma intensidade em um piano ou em violino, identificamos a diferença da fonte. Assim, a forma como as frequências se combinam, constituindo o espectro sonoro, é chamada timbre (DE SOUZA, *et al.*, 2012).

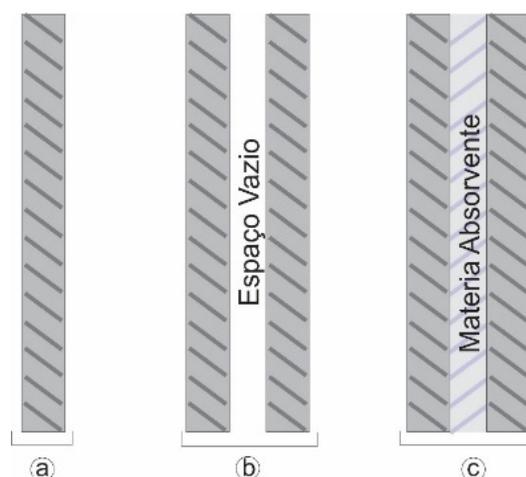
O ruído é uma classe de sons, que são considerados indesejados, e em algumas situações pode prejudicar a saúde e o bem-estar de indivíduos ou populações (BISTAFA, 2011). O ruído é um poluente, e se a exposição a ele for crônica e exceder certos níveis, poderão ser observados resultados negativos para a saúde, como perturbação do sono, tensão, queda de desempenho, entre outros, além da surdez (BASNER, *et al.*, 2014).

Assim, pode-se determinar conforto acústico como sendo a ausência de ruídos, a boa inteligibilidade da fala, proporcionando satisfação às pessoas. E esse bem-estar depende de uma boa absorção sonora, de um eficiente isolamento acústico, ou de ambos simultaneamente (DE SOUZA, *et al.*, 2012; CARVALHO, 2006).

Os materiais empregados para os diferentes casos têm características diferentes entre si, é importante saber a diferença entre um material isolante de um material absorvedor. Essas podem ser complementares, mas não quer dizer que um bom material isolante é um bom absorvente e vice-versa (DE SOUZA, *et al.*, 2012; BISTAFA, 2011).

Isolamento acústico ou sonoro é o método utilizado para evitar a propagação do som de um ambiente para o outro. Para isto são utilizadas barreiras de diversos tipos, sejam paredes simples ou duplas, de acordo com o nível sonoro que precisam isolar e dificultar a propagação dos ruídos (BISTAFA, 2011; CARVALHO, 2006). Podem ser utilizados materiais de construção em diversas espessuras, como tijolos maciços, blocos de concreto etc.; ou sistemas de paredes duplas com materiais mais leves e com produtos de absorção entre elas (Figura 14). Já a absorção sonora tem como finalidade melhorar as características de um ambiente. Isto pode ser feito através do controle de tempo de reverberação⁶ de um ambiente (BISTAFA, 2011).

Figura 14: Exemplo de sistemas de paredes. a) Exemplo de parede simples; b) Exemplo de parede dupla, com espaço vazio entre elas (ar); c) Exemplo de parede dupla, com material absorvente entre elas.



Fonte: Adaptada de Carvalho, (2006).

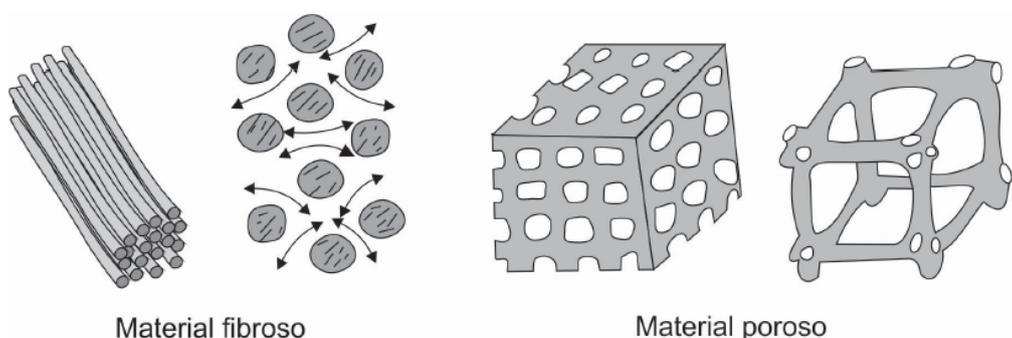
Essa reverberação pode ser controlada com o uso de materiais que possuem a capacidade de absorção sonora, o que resulta na redução do nível de ruído interno, maior clareza, audibilidade (poder escutar bem) e inteligibilidade (entender o que está sendo dito), (OWA, 2020).

Os materiais aplicados para absorver o som são fibrosos ou porosos (Figura 15) e esta absorção se dá pela dissipação de energia acústica por atrito, devido ao movimento das moléculas de ar no interior do material, quando ocorre a passagem da onda sonora. Assim, um bom material permite que as partículas

⁶ Consiste no prolongamento necessário de um som produzido, a título de sua inteligibilidade em locais mais afastados da fonte produtora. (CARVALHO, 2006).

penetrem e se movimentem em seu interior (BISTAFA, 2011; CARVALHO, 2006).

Figura 15: Estrutura de materiais fibrosos e porosos



Fonte: Adaptada de Bistafa, (2011).

Para Carvalho (2006), em função das formas e proporções dos poros ou das fibras desses materiais é que se explica a alternância de suas absorções acústicas, conforme as faixas de frequência e geralmente são melhores absorventes às altas frequências que às baixas.

2.3 PALMEIRAS

As palmeiras, plantas monocotiledôneas com morfologia muito característica, pertencem à família Arecaceae (ou *Palmae*) e estão dentre as plantas mais antigas do globo terrestre, havendo registros de sua existência há mais de 120 milhões de anos (JOHNSON, 2011). São representadas por cerca de 3.500 espécies reunidas em mais de 240 gêneros (LORENZI *et al.*, 1996).

Nas Américas, consoante Henderson *et al.* (1995), são encontrados 67 gêneros que compreendem 1.440 espécies, das quais 200 estão distribuídas em 39 gêneros, os quais são registrados para o Brasil. E, de acordo com Johnson (1998), representam uma das famílias botânicas mais importantes para o ser humano, pois ocupa a terceira posição no mundo (depois das famílias *Gramineae* e *Leguminosae*). Destacam-se pela sua riqueza, produtividade e diversidade de usos, importância alimentar, medicinal, sociocultural e econômica para populações locais fornecendo produtos importantes para subsistência como cocos, tâmaras, palmito, ceras, fibras, material para construções rústicas,

artesanatos, entre outras atividades que geram renda, sem contar sua ampla distribuição e abundância (ZAMBRANA *et al.* 2007).

No Rio Grande do Sul, segundo Rossato (2007), ocorrem seis gêneros de palmeiras: *Bactris Jacq.*, *Butia (Mart.) Becc.*, *Euterpe Mart.*, *Geonoma Mart.*, *Syagrus Mart.* e *Trithrinax Mart.* Dentre eles, segundo Elesbão (2016), destacam-se as palmeiras do gênero *Butiá*, característicos de campos e cerrados, ocorrendo naturalmente no sul do Brasil, leste do Paraguai, noroeste e sudeste do Uruguai, e nordeste da Argentina (ROSSATO, 2007).

No paisagismo, o valor ornamental das palmeiras tem aumentado, no entanto, muitas espécies encontram-se ameaçadas pela intensiva exploração de seus produtos pelo homem, competição com espécies invasoras, pela eliminação de seus frugívoros, os quais encontram-se ameaçados de extinção pela perda de seus habitats e também pela caça (PIRES, 2006).

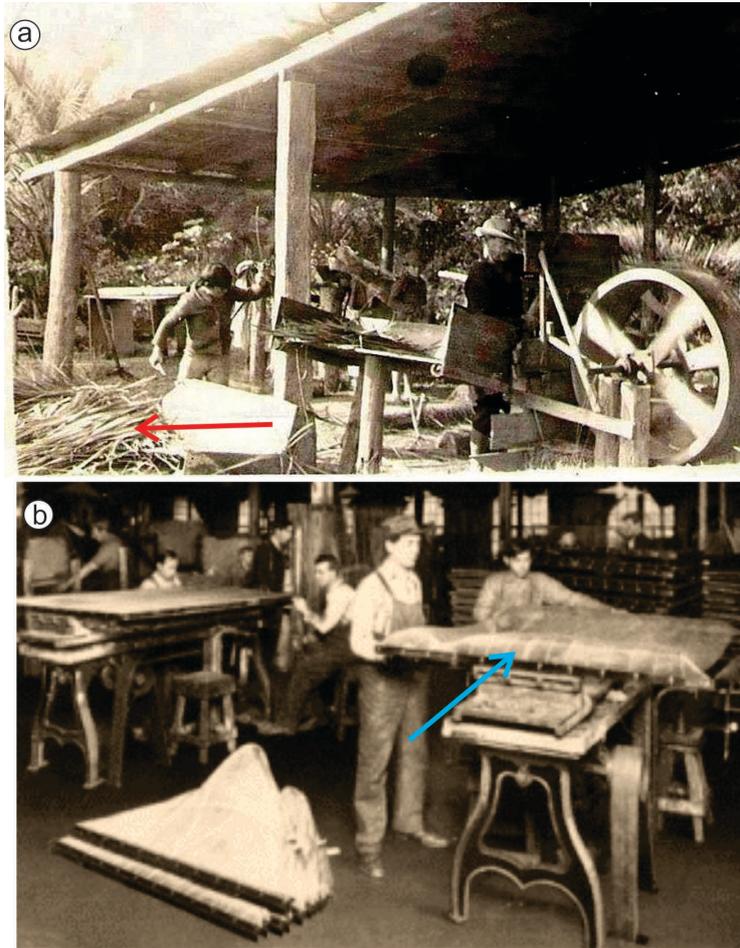
2.3.1 Butiazeiros e Butiazais

O gênero *Butia* (Arecaceae), pertence à subtribo *Butiinae*, um gênero de palmeiras que reúne 22 espécies nativas da América do Sul - Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai - as quais podem ser encontradas nos Biomas Pampa, Mata Atlântica e Cerrado (ESLABÃO *et al.*, 2016; SANT'ANNA-SANTOS, 2021). São caracterizadas pela disposição ascendente dos folíolos nas folhas, formando uma letra “v” em corte transversal, e pela presença de poros no endocarpo das sementes (LORENZI, 2010).

Desenvolvem-se bem ao sol ou em locais pouco sombreados, estando presentes em diferentes ambientes, desde campo aberto até vegetação de restinga, ou associados à mata de araucária (ROSSATO, 2007).

Segundo Rivas e Barbieri (2014), o ecossistema de butiazal é reconhecido por sua importância paisagística, de biodiversidade e histórico-cultural, compreendendo uma rica diversidade de flora e fauna nativa associada. As autoras salientam que a crina vegetal, como era conhecida a fibra extraída das folhas dos butiazeiros, eram usadas na fabricação de colchões e estofamento para móveis; foram relevantes para o progresso econômico de algumas localidades (Figura 16).

Figura 16: Produção de crina vegetal na década 60. a) Folhas secas sendo preparadas para a produção dos colchões (seta vermelha); b) Colchão de folhas de butiazeiro sendo produzido (seta azul).



Fonte: Distrito Criativo, (2015).

No Brasil, existiam extensos butiazais nas áreas próximas ao litoral do Rio Grande do Sul, porém, a partir da década de 1970, ocorreu uma devastação muito grande devido ao desinteresse na produção de crina vegetal⁷ e à consequente implantação de monoculturas e expansão de áreas urbanas. Atualmente sobraram poucos butiazais naturais (RIVAS, BARBIERI, 2014).

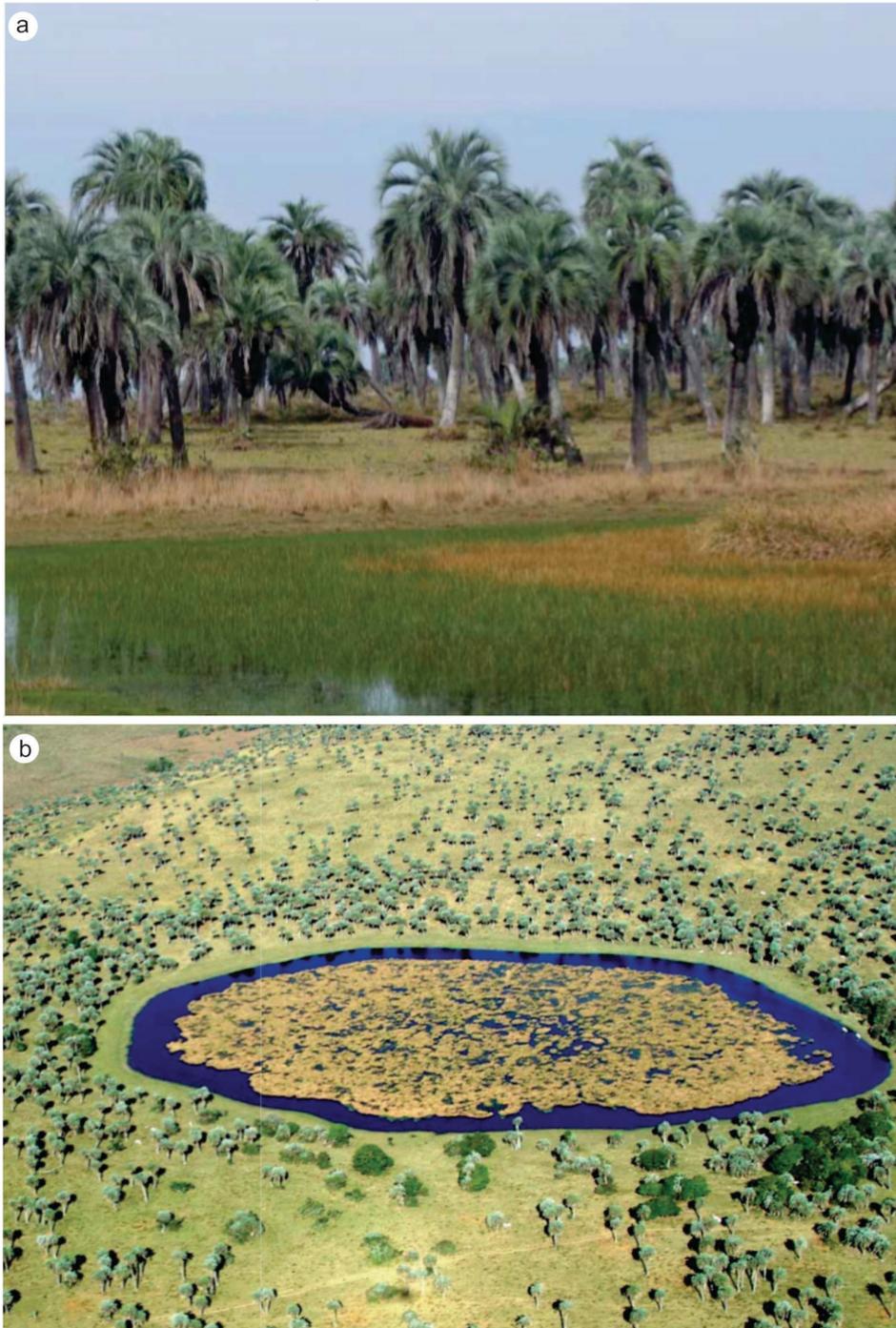
A maior diversidade de espécies do gênero encontra-se no Brasil, onde ocorrem 21 espécies, nas Regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país. No leste do Paraguai ocorrem sete espécies, enquanto quatro espécies são registradas no noroeste e sudeste do Uruguai e duas espécies no nordeste da Argentina (ESLABÃO, *et al.*, 2016).

⁷ Crina vegetal, fibras retiradas de plantas como palmeiras, agave, fórmio etc., e que têm o mesmo uso da crina animal. Ex. estofados e colchão de crina vegetal.

Destacam-se por formar comunidades denominadas de butiazais ou palmares, compostas por concentrações de butiazeiros que podem chegar a 600 palmeiras por hectare em alguns locais (BARBIERI, 2015).

A Figura 17 exibe imagens de um butiazal em Tapes, Rio Grande do Sul, Brasil.

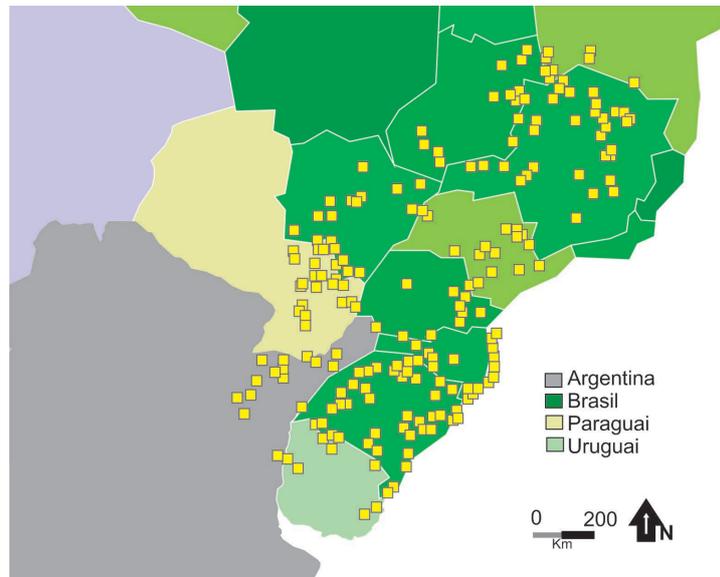
Figura 17: Butiazal. a) Butiazal em Tapes, Rio Grande do Sul, Brasil; b) Vista aérea do Butiazal em Tapes, Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: Barbieri, (2015).

Na Figura 18 pode-se observar a distribuição geográfica do gênero *Butia* (*Arecaceae*) na Argentina (em amarelo-escuro), Brasil (em verde-escuro), Paraguai (em amarelo-claro) e Uruguai (em verde-claro).

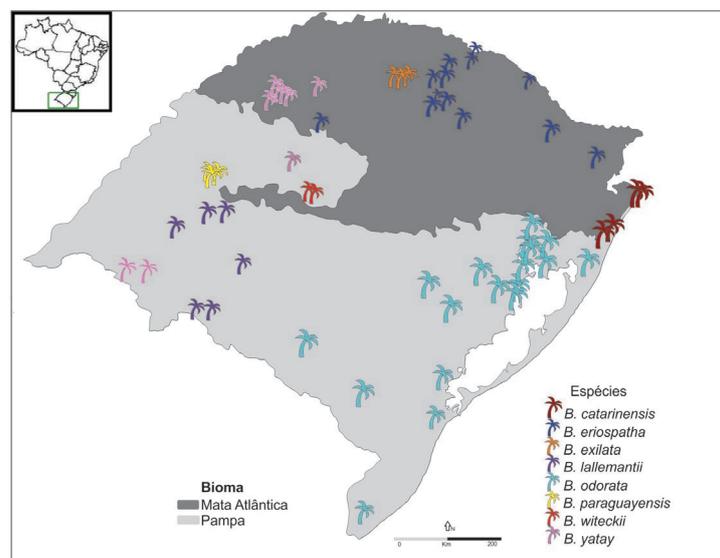
Figura 18: Distribuição geográfica do gênero Butiá na Argentina (em amarelo-escuro), Brasil (em verde-escuro), Paraguai (em amarelo-claro) e Uruguai (em verde-claro).



Fonte: Adaptada de Eslabão, M. P. *et al.* (2016).

A distribuição geográfica das espécies de Butiá nos Biomas Mata Atlântica e Pampa no Rio Grande do Sul, podem ser observadas na Figura 19.

Figura 19: Distribuição geográfica das espécies de Butiá nos Biomas Mata Atlântica e Pampa no Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptada de Eslabão *et al.* (2015).

Os butiazeiros apresentam um caule do tipo estipe, que pode atingir até 12 metros de altura e 60 cm de diâmetro (RIVAS; BARBIERI, 2014). São plantas monoicas com flores femininas e masculinas, e os eventos de floração para cada inflorescência abarcam um período aproximado de 14 ou 15 dias (GEYMONAT; ROCHA, 2009).

Os butiazeiros (Figura 20) produzem cachos de frutos adocicados e levemente ácidos, que se tornam amarelos, alaranjados ou avermelhados quando maduros, conhecidos como butiás. No interior do fruto existe um coquinho, dentro do qual ficam as sementes (ou amêndoas) oleaginosas, que também são comestíveis e muito saborosas. Esses frutos podem sofrer variação genética na sua cor (RIVAS; BARBIERI, 2018).

Figura 20: Exemplo da palmeira. a) Butiazeiro odorata; b) Inflorescência de Butiá odorata; c) Cacho de butiás; d) Variabilidade genética para cor de frutos em butiá.

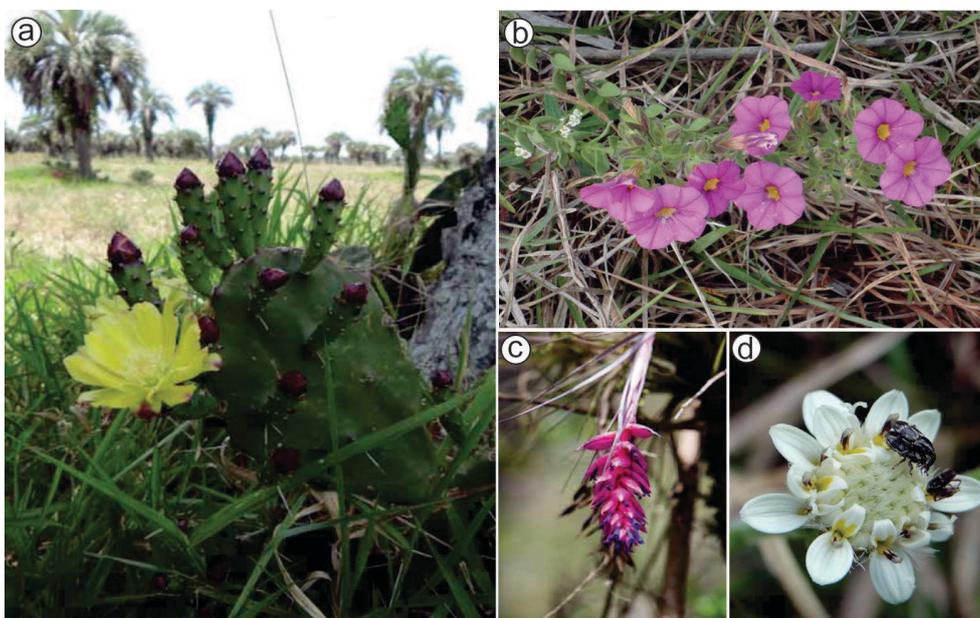


Fonte: Barbieri, (2015).

De modo geral, a produção de butiá inicia entre seis e dez anos de vida da planta. Depois disso, os butiazeiros continuam produzindo ano após ano, por mais de 200 anos. Os butiás contêm alto teor de potássio, manganês e ferro, são ricos em vitamina C e carotenoides. Cada planta pode produzir até 15 cachos por ano e cada cacho pode produzir até 20 kg de butiás (RIVAS, 2013).

O ecossistema dos butiazais compreende uma valiosa diversidade de flora e fauna associada, no qual ocorrem cadeias alimentares e fluxos de energia característicos da comunidade. Abriga uma diversidade de samambaias, briófitas, fungos, algas e líquens (Figura 21). Plantas adaptadas a grandes variações de temperatura e de insolação.

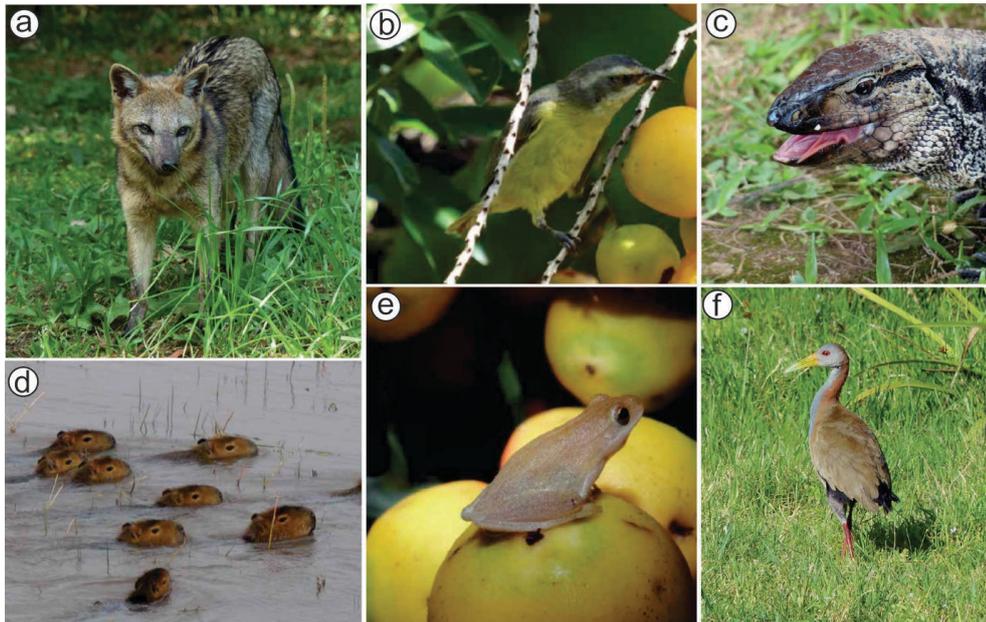
Figura 21: Flora associada. a) Cacto com flores; b) Petúnia; c) Bromélia; d) Margarida Branca.



Fonte: Barbieri, (2015).

O butiá é um recurso alimentar de importante valor no que se refere à fauna associada ao palmar, e se destacam as aves, anfíbios, répteis, mamíferos e artrópodes (Figura 22). Apesar de alguns destes serem carnívoros, complementam sua dieta com frutos e são excelentes dispersores, espalhando as sementes dos butiás que comem, ampliando as áreas de butiazais, renovando as populações (BARBIERI, 2015).

Figura 22: Fauna associada. a) Graxaim-do-campo; b) Cambacica; c) Lagarto-teiú; d) Capivara; e) Pereca. f) Saracuru.



Fonte: Barbieri, (2015).

Os butiazais possuem beleza cênica e paisagística, valor ornamental, histórico e cultural (Figura 23). Fornecem matéria prima para artesanato e agroindústria, além da participação nos ciclos biogeoquímicos, principalmente da água e do carbono.

Figura 23: Paisagismo, arte e opções turísticas. a) Butiazal em Castillos, Rocha, Uruguai; b) Mural pintado por um artista local na cidade de Castillos, Uruguai; c,d,e) Turismo Rural em Tapes, RS – Rota dos butiazais, indicando a trajetória realizada e as paisagens ao longo do caminho.



Fonte: a,b) Barbieri, (2015); c,d,e) Fonte: Butiá Turismo Rural, (2021).

De acordo com Barbieri (2015), atualmente, ameaçados pela expansão das áreas agrícolas e urbanas, butiazais extensos são cada vez mais raros. Outra preocupação é a falta de regeneração das populações, já que nos butiazais remanescentes resistem apenas plantas adultas, algumas centenárias, pois a presença de mudas e palmeiras jovens é escassa. Ainda, segundo a autora, um conjunto de ações vem sendo conduzidas para gerar informações e valorizar a biodiversidade relacionada aos ecossistemas de butiazais, incluindo a caracterização de serviços ambientais, identificação da flora e da fauna associada, estudos da biologia reprodutiva e resgate do conhecimento popular associado aos usos da planta.

Essas ações têm contribuído para a redução das ameaças aos butiazais e para a valorização desses ecossistemas como prestadores de serviços ambientais (BARBIERI, 2015).

A comercialização de frutos frescos e de diversos derivados representa uma fonte de recursos para os habitantes da área de Castillos, em Rocha (Uruguai), e de Santa Vitória do Palmar (Brasil), (RIVAS, BARBIERI, 2014).

Os destaques são licor, geleia, doce em ponto de corte, molho agridoce, calda para sobremesas e sorvetes, butiazada *gourmet* (ao rum), suco, néctar, vinagre, bombons, licor com mel, polpa para sorvetes e panificados (RIVAS, 2010). Deste modo, segundo a autora, busca-se conseguir aproveitar o fruto integralmente, todos os seus componentes, e neste sentido está sendo iniciada a produção de panificados aproveitando a fibra do butiá.

Das fibras das folhas são produzidos diversos objetos decorativos e utilitários a partir de tramados, como bolsas, chapéus, garrafas e frascos decorados, caixas, porta-objetos, suportes para copos, quadrinhos, etc. (Figura 24). Das fibras do fruto de butiá, são produzidas máscaras decorativas e artesanatos. O aproveitamento do butiá é tradicional na região, onde as pessoas aproveitam esta riqueza natural, valorizando deste modo o ecossistema do palmar e os conhecimentos tradicionais associados (RIVAS; BARBIERI, 2018).

Figura 24: Artesanato produzido com diferentes partes do butiazeiro. a,b) Bolsas e potes confeccionados com folhas secas dos butiazeiros; c) Mascara confeccionada com resíduos dos frutos; d) Artesanatos produzidos com as folhas secas do butiazeiro.



Fonte: Autora, (2018)

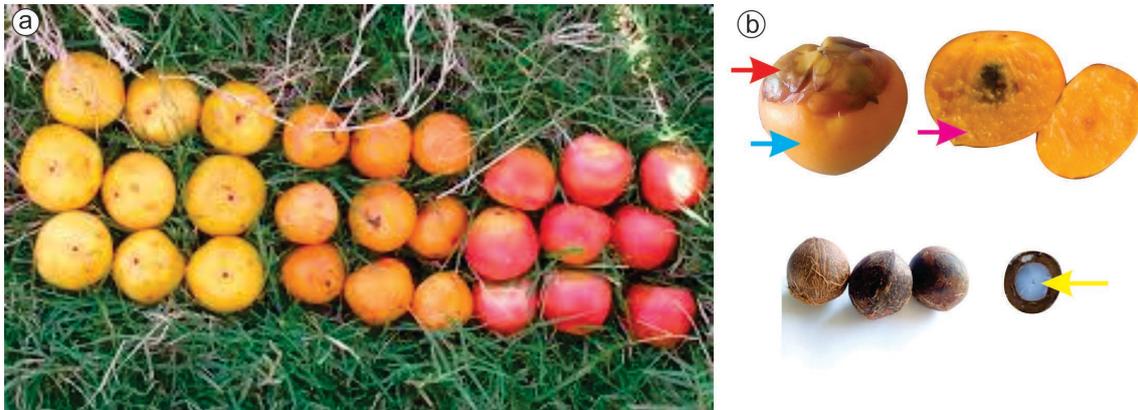
Como descrito anteriormente, segundo Rivas e Barbieri (2104) um conjunto de ações vem sendo conduzido para gerar informações e valorizar a biodiversidade relacionada aos ecossistemas de butiazais. Nesse contexto, pequenos produtores estão investindo no cultivo de butiás, como opção para geração de renda aliada à conservação da biodiversidade nas pequenas propriedades rurais.

2.3.2 Butiá (fruta)

Os frutos, conhecidos como butiás, são do tipo drupa, carnosos e comestíveis (LIMA *et al.* 2010). O interesse pelos frutos nativos tem aumentado por se acreditar que o consumo deles é recomendado para a saúde humana, que estão associados aos compostos bioativos com propriedades antioxidantes que a fruta contém.

Os frutos (Figura 25) possuem tamanho variável, geralmente são mais largos do que comprido, 2,0 a 3,5 cm × 1,4 a 4,3 cm; o epicarpo amarelo, alaranjado, avermelhado ou púrpura quando maduro. O mesocarpo é carnosos e o endocarpo geralmente globoso, ou levemente ovoide e contém de 1 a 3 sementes (LORENZI *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2014).

Figura 25: Frutos do butiazeiro. a) Variabilidade genética para cor de frutos em butiá; b) Fruto, seta vermelha indicando o perianto, seta azul indicando o exocarpo, seta rosa indicando o mesocarpo, seta amarela indicando a amêndoa.



a) Fonte: Rivas e Barbieri, (2018); b) Fonte: Jobim e Duarte, (2021).

Segundo Rivas e Barbieri (2014), existe uma grande variação para as características dos frutos de diferentes plantas, principalmente em relação a cor, tamanho e sabor. Conforme as autoras, isso se deve à forma de reprodução dos butiazeiros, pois as flores femininas de cada planta são fecundadas pelo pólen produzido por flores masculinas de várias outras plantas que existem no local. Como resultado, as plantas-filhas originadas das sementes dos frutos de um mesmo cacho podem ser muito diferentes se comparadas à planta mãe, e podem produzir frutos com características bem distintas.

De acordo com Padilha *et al.* (2016), um butiazeiro pode produzir de 3 a 7 cacho de butiás por ano, podendo variar de ano para ano. Em uma proporção menor, podem produzir mais de 12 cachos por ano. Destaca ainda que butiazeiros com mais de 150 anos de idade continuam a produzir frutos, e existe variabilidade genética para o número de cachos produzidos por planta.

De acordo com Rivas (2013), um cacho pode produzir cerca de 1300 frutos por penca e pesar até 15 kg. Os frutos podem pesar de 7 g a 14 g e possuem aproximadamente 70% de polpa por fruto. Podem possuir de 1 a 3 sementes por fruto (coquinhos).

Em relação aos resíduos dos frutos de butiá, Jobim e Duarte (2021) realizaram um levantamento sobre alternativas para utilização desses resíduos de forma sustentável, constataram que são aproveitados em artesanatos, e produção de farinha de butiá, que é fabricada com a fibra desidratada, sendo

incorporada em receitas de biscoitos, utilizadas também em compostagens para serem aplicados como adubos (Figura 26).

Figura 26: Produtos confeccionados com os resíduos dos frutos. a) Garrafas decoradas com fibra de butiá; b) Capa do bloquinho feita com fibra de butiá; c) Potinho de fibra de butiá produzidos pela artesã Marizete Borges; d,e) Produtos elaborados com farinha da fibra de butiá..



Fonte: Adaptada de Jobim e Duarte, (2021).

Outro estudo com os resíduos dos frutos, foi desenvolvido por Jobim e Duarte (2021), as autoras analisaram a modelagem, o tempo de secagem do material e produziram, de forma artesanal, uma embalagem para ovos, com os resíduos dos frutos de butiá (Figura 27).

Figura 27: Embalagem para ovos produzida com resíduos dos frutos do butiá.



Fonte: Jobim e Duarte, (2021).

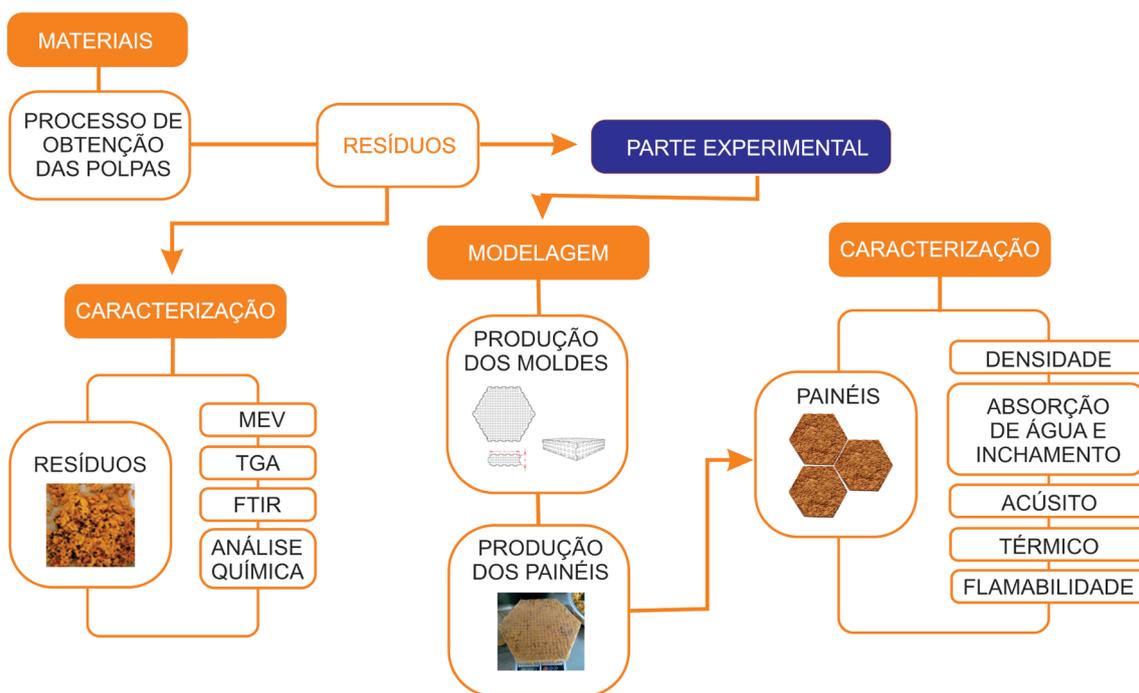
Concluíram que o aproveitamento desses resíduos é uma oportunidade de desenvolvimento de subprodutos, pois são de fácil modelagem, e que o estudo inicial de produção de embalagem para ovos, corroborou com a valorização da identidade territorial, além de ser uma possibilidade para promover o desenvolvimento local, é uma alternativa aos recursos não renováveis.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico são apresentados os materiais e os métodos que foram utilizados no desenvolvimento da pesquisa. Com relação aos materiais, são apresentadas informações referentes ao processo de obtenção dos resíduos de butiá, modelagem dos painéis modulares e preparação dos corpos de provas.

O preparo e confecção dos painéis modulares foi efetuado por meio de um processo artesanal. É importante ressaltar que na preparação dos painéis não foi utilizado nenhum material aglutinante, apenas água. Em relação aos métodos, são apontados os instrumentos e técnicas que foram empregadas. A Figura 28 representa as etapas, métodos e ensaios que foram realizados na caracterização dos resíduos e dos painéis.

Figura 28: Etapas do processo.



Fonte: Autora, (2023).

3.1 MATERIAL

Os resíduos dos frutos de butiá utilizados nas análises foram fornecidos por uma agroindústria localizada em Viamão, região metropolitana de Porto Alegre, RS.

3.1.1 Processo de obtenção dos resíduos

Existem diferentes tipos de despulpadeiras para obtenção de polpas de frutos, mas para demonstrar o processo e mensurar a quantidade de resíduos durante o processo, foi utilizada uma Despulpadeira de Frutas Braesi DES-60, potência de 240W, e aproximadamente 9 kg de butiás inteiros pesados, sem o perianto, em uma Balança Digital Elp-6/15/30 E-Line – Balmak).

A Figura 29 apresenta o processo de obtenção de polpa de butiá e consequentemente dos resíduos; a Figura 29a são apresentados os frutos de butiá medindo aproximadamente 4 cm x 4 cm, seta amarela indicando a perianto; na Figura 29b, a pesagem dos frutos em balança digital; na Figura 29c, a despulpadeira utilizada no processo, seta vermelha indicando onde são colocados os frutos, seta laranja, indicando onde saem os resíduos, seta amarela indica o local de saída da polpa e seta verde indica local onde está sendo depositada a polpa; na Figura 29d, a parte interna da despulpadeira indicando a quantidade de material que permanece dentro do equipamento após o processo;

Após a retirada da polpa, é possível observar que sobram as fibras, juntamente com a casca e os coquinhos (Figura 29e); então, foram retirados os coquinhos destes resíduos e mais uma vez verificados (Figura 29f). É importante salientar que o processo de despulpacão foi realizado por meio da passagem do material duas vezes no equipamento. Assim pode-se estimar que de aproximadamente 9kg de frutos de butiá, 15% resulta em resíduos.

Figura 29: Processo de despolpação e obtenção dos resíduos. a) Frutos de butiá medindo aproximadamente 4cm x 4cm, seta amarela indicando a perianto; b) Pesagem dos frutos em balança digital; c) Despoldadeira utilizada no processo, seta vermelha indicando onde são colocados os frutos, seta laranja, indicando onde saem os resíduos, seta amarela indica o local de saída da polpa e seta verde indica local onde está sendo depositada a polpa; d) Parte interna da despoldadeira indicando a quantidade de material que permanece dentro do equipamento após o processo; e) Resíduos obtidos, seta amarela indicando os coquinhos; f) Pesagem dos resíduos sem o coquinho.



Fonte: Autora, (2023).

Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Alimentos do Instituto Federal Farroupilha, Campus Santa Rosa, RS.

3.2 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Para a caracterização dos resíduos foram utilizadas as técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Análise Termogravimétrica, Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR, Composição química e umidade que serão descritos mais detalhadamente nos tópicos que se seguem.

3.2.1 Microscopia eletrônica de varredura - MEV / EDS

Com o objetivo de identificar as microestruturas dos painéis de resíduos dos frutos de butiá, foram realizadas as microscopias eletrônicas de varredura (MEV), no equipamento disponível no Laboratório de Design e Seleção de Materiais – LdSM, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de bancada, marca Hitachi, modelo TM3000 que possibilita análises microscópicas por elétrons retro espalhados (BSE), com aumento de até 30.000 vezes, com feixes de 5 e 15 keV.

3.2.2 Análise Termogravimétrica – ATG

A análise termogravimétrica é uma técnica na qual a variação da massa da amostra é determinada em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura (MATOS, MACHADO, 2003) que permite avaliar a estabilidade térmica do material e ajuda na determinação do limite máximo da temperatura de aplicação.

As análises termogravimétricas foram realizadas no Laboratório de Materiais Cerâmicos– LACER, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com um equipamento da marca Shimadzu, modelo TGA-50, com o objetivo de avaliar a energia de ativação do processo de degradação do material. Para este ensaio, a taxa de aquecimento será de 10 °C/min, em atmosfera de N₂/O₂, partindo de temperatura ambiente até 700 °C.

3.2.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR.

As análises de espectroscopia no infravermelho foram realizadas no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com equipamento modelo IRAffinity-1, da Shimadzu, com o material seco *in natura*, na casca e nas fibras separadamente.

3.2.4 Composição Química e umidade

Para as análises da composição química, foi utilizada a metodologia proposta por Goering & Van Soest adaptada por Prates (2007), que permite fracionar os constituintes da fração fibrosa das plantas, por meio de soluções detergentes com pH diferentes. Obtém-se também algumas reações químicas e solubilidade da celulose, hemicelulose, lignina e extrativos.

O método consiste em utilizar Fibra em detergente neutro (FDN) que estima a % da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina); Fibra em detergente ácido (FDA) que estima a porção menos digestível da parede celular (celulose e lignina) e a lignina é definida por LDA – lignina em detergente ácido, também conhecido como lignina Klason (PRATES, 2007).

As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal (LNA), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foram realizadas em quadruplicata e o relatório fornecido pelo laboratório está no Anexo I.

3.3 FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS

Para analisar o comportamento do material foram realizadas diferentes tentativas de modelar o material; a primeira com caixas de frutas utilizadas em feiras, e a segunda tentativa utilizando moldes.

3.3.1 Produção dos painéis - Teste 1

Para analisar o comportamento de aglutinação das fibras, modelagem e textura dos painéis, na primeira tentativa foi utilizado o seguinte método:

- Caixas plásticas usadas em feiras para o transporte de frutas como moldes (Fabricada em polietileno de alta densidade, com comprimento: 500mm, largura: 300mm, altura: 150 mm);
- Tecido étamine da cor bege, gramatura 175 g/m² – 247 g/m linear;
- Um liquidificador Britânia turbo 900w, com faca de 4 lâminas e capacidade para 2,6 litros;
- Régua graduada de 30 cm;
- Água potável (fornecida pela companhia de água), aproximadamente 1,5 litros.

Inicialmente os resíduos foram processados com auxílio do liquidificador, até obter uma pasta homogênea (Figura 30).

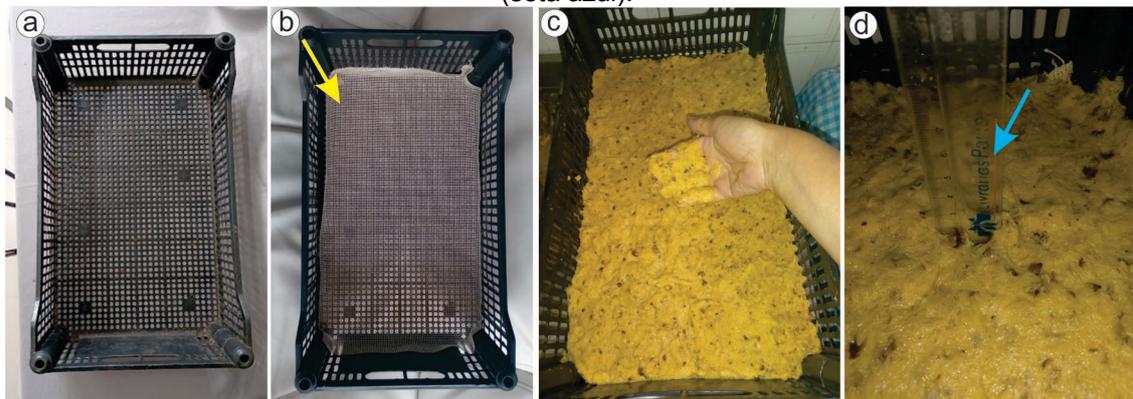
Figura 30: Processo de preparação do material. a) Resíduos de molho na água, sendo diluídos; b) Resíduos depois de processados.



Fonte: Autora, (2023).

Em seguida, uma das caixas foi revestida com o tecido étamine, enquanto as demais permaneceram sem revestimentos. Logo após, as caixas foram preenchidas com essa pasta (Figura 31). Nesse processo não foi estimado a quantidade de resíduos utilizados para o preenchimento das caixas, apenas a régua com intuito de assegurar uniformidade na espessura ao longo de toda a extensão.

Figura 31: Processo de preparação dos painéis. a,b) Caixas utilizadas como molde na produção dos painéis (seta amarela indicando o tecido); c) Caixa preenchida com os resíduos processados; d) Régua graduada sendo utilizada para mensurar a espessura do material (seta azul).



Fonte: Autora, (2023).

Após esse processo, as caixas foram expostas à radiação solar no período da manhã por aproximadamente 4 horas, e mesmo sem sol, permaneceram ao ar livre até aproximadamente às 17h (Figura 32).

Figura 32: Processo de secagem dos painéis.



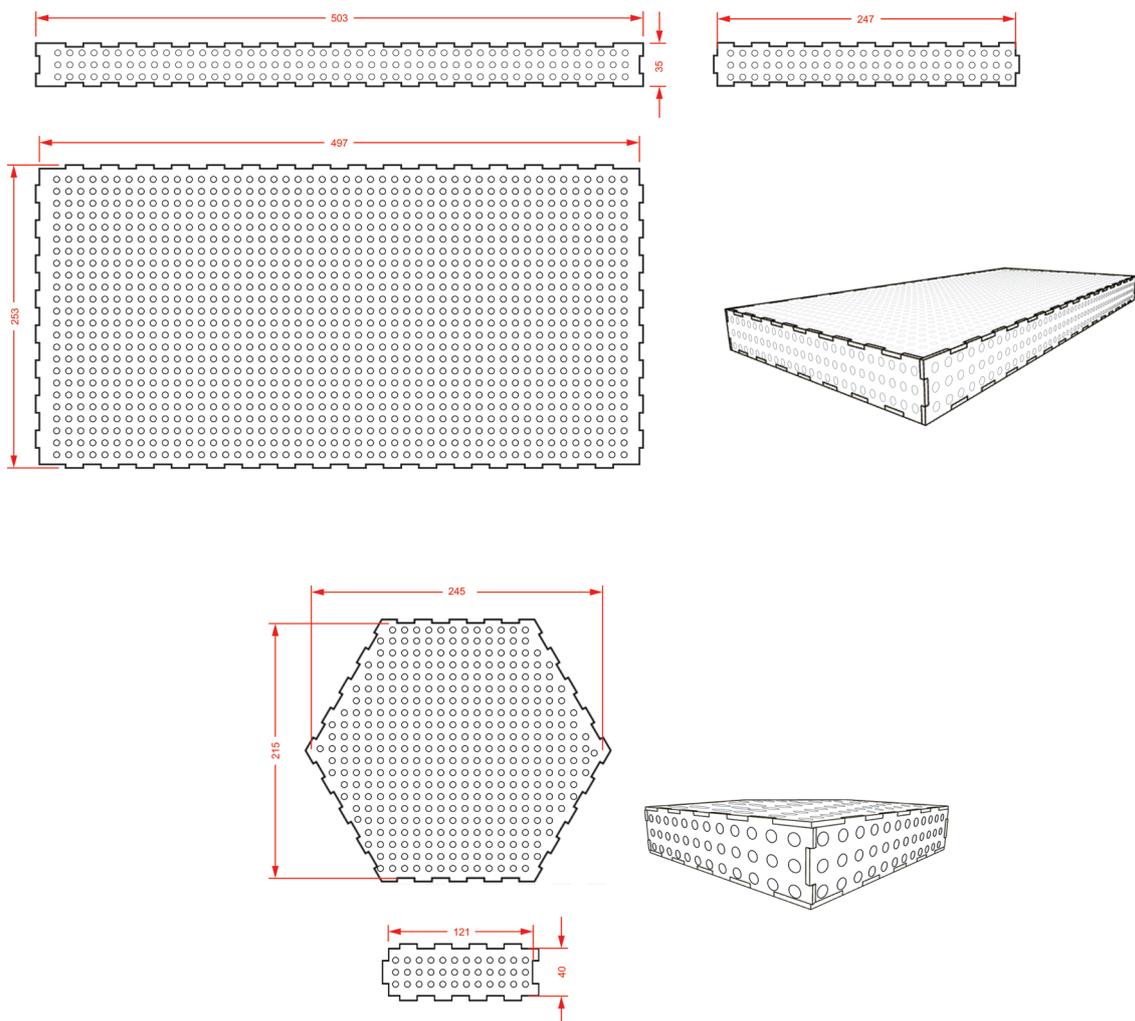
Fonte: Autora, (2023).

Esse processo foi repetido por dois dias, em virtude do acúmulo de água na porção inferior, foi necessário retirar as amostras de dentro das caixas, para que pudessem ser rotacionadas afim de agilizar a secagem. Posteriormente, permaneceram por aproximadamente 15 dias sendo expostas ao calor, até que estivessem totalmente secas. Esses painéis foram produzidos entre os meses de janeiro e fevereiro de 2022, e a temperatura ambiente variou entre 20 °C e 36 °C.

3.1.2 Produção dos Moldes

Para confecção dos painéis foram elaborados dois modelos de moldes, um retangular e outro hexagonal, ambos vasados, que foram confeccionados em acrílico de 3mm de espessura (Figura 33) com auxílio de uma Máquina corte a laser 1000x600 - MC1060.

Figura 33: Desenho técnico dos moldes em acrílico de 3 mm utilizados para a produção dos painéis, um retangular medindo 503mm x 253mm x 35mm e um hexagonal medindo 245mm x 215mm x 40mm.



Fonte: Autora, (2023).

O processo foi realizado no Laboratório de Inovação e Fabricação Digital da Escola de Engenharia (LIFEELAB) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

3.3.3 Produção dos painéis - Teste 2

Para a segunda tentativa foram confeccionados painéis com diferentes espessuras e processos. O primeiro processo envolveu, a hidratação das fibras dos resíduos do butiá com água potável (aproximadamente dois litros) até que ficassem totalmente diluídos, e foram denominados como PRNP – Painéis com resíduos dos frutos de butiá não processados.

O segundo processo incluiu, além da água potável, a utilização de um liquidificador para obtenção de um material com aspecto mais homogêneo e a partir desse procedimento obteve-se uma pasta, como descrito no tópico 3.3.1. e denominando-se PRP – Painéis com resíduos dos frutos de butiá processados;

Como os moldes são vasados, a água que escorre, é reaproveitada para o preparo da amostra seguinte.

Com o objetivo de analisar o padrão de produção e as propriedades dos painéis, após a modelagem, foram produzidas 25 amostras hexagonais e uma retangular. A retangular é de difícil manuseio e secagem, já os moldes hexagonais facilitam o transporte e manejo.

Para o preparo dos painéis hexagonais foram utilizados cerca de 1 kg de resíduos (pesados antes de serem diluídos), já no caso da retangular, foram utilizados cerca de 3,5 kg. É relevante destacar que após a despolpa, eles são acondicionados em sacos plásticos, por se tratar de um material que contém líquido, esse concentra-se no fundo. Assim, quando são pesados para a confecção dos painéis, a quantidade de material utilizado para o preparo pode variar, uma vez que resíduos mais úmidos tendem a ter um peso maior. Por esse motivo os valores são considerados “aproximados”.

A etapa seguinte constitui no preenchimento dos moldes com pequenas quantidades de resíduos, até que ficassem totalmente cobertos (Figura 34). Depois de confeccionados, foram pesados em uma balança digital de cozinha - CE. O molde retangular pesou 4.284 kg e os hexagonais 1.500 kg aproximadamente.

Figura 34: Processo de preparação dos painéis. a) Molde hexagonal sendo preenchido com resíduos; b) Molde totalmente preenchido com resíduos; c) Molde hexagonal sendo pesado. d) Molde retangular sendo pesado.



Fonte: Autora, (2023).

Em seguida foram dispostos em uma superfície plana, também vasada, para iniciar o processo de secagem, ficando expostos à radiação solar no período da manhã por aproximadamente 3 horas, sendo rotacionadas a cada hora, para evitar o acúmulo de água e prevenir a formação de bolor⁸. Mesmo sem sol, permaneceram ao ar livre até aproximadamente às 17h (Figura 35).

⁸ O bolor é um grupo de fungos filamentosos muito comum em ambientes úmidos e com pouca ventilação, sendo os tipos mais presentes em ambientes internos os *Cladosporium*, *Penicillium* e *Aspergillus*.

Figura 35: Processo de secagem dos painéis. a) Moldes preenchidos com resíduos secando ao sol; b, c) Painéis retirados dos moldes expostos ao ar livre em diferentes horários.



Fonte: Autora, (2023).

Esse processo foi repetido por um período de três dias consecutivos. Após essa etapa, os painéis foram retirados dos moldes, a fim de facilitar a secagem (Figura 35 b,c). Permaneceram nesse sistema aproximadamente por 15 dias até que estivessem totalmente secos. Esses painéis foram produzidos entre os meses de fevereiro e março de 2022, a temperatura ambiente variou entre 20 °C e 38 °C.

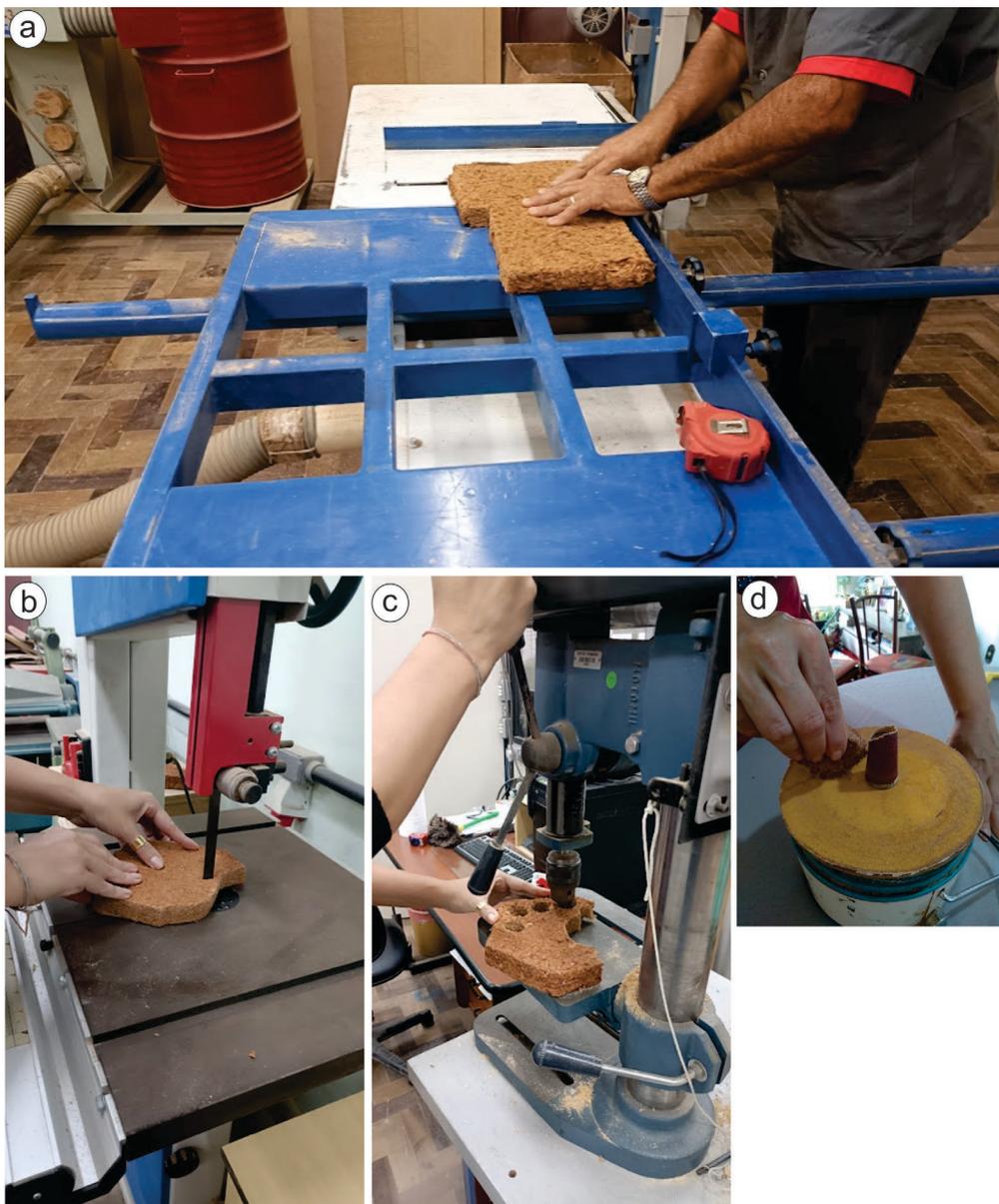
O tempo necessário para a secagem (dias) é variável, sendo influenciado pelo aumento da temperatura e pela intensidade da exposição solar e velocidade de circulação do ar. Em condições de maior calor e exposição solar, o processo de secagem tende a ser mais rápido.

3.3.4 Preparação dos corpos de provas

Para produção dos corpos de provas, foi realizada uma experimentação com processos utilizados na indústria moveleira, com o uso de máquinas básicas de marcenaria (Figura 36), com o objetivo de verificar o comportamento dos painéis quando submetidos a esses processos. Foram realizados cortes e furos com diferentes equipamentos. Para o corte com serra de fita foi utilizado o equipamento da marca Tekna modelo SF 400 T, potência do motor 2CV, com serra de 1/4 c/ 6 dentes por polegada. Para o corte na esquadrejadeira foi

utilizado o equipamento da Modelo Verry Ômega, motor 3cv, rotação da serra 4200rpm e diâmetro da serra de 250 mm. Para os corpos e prova no tubo de impedância foi utilizada um furadeira de bancada Motomil, com potência de 1/3 HP, utilizando uma serra copo com diâmetro de 28 mm, e uma lixadeira elétrica de pequeno porte (adaptada a um motor de liquidificador walita de 300w).

Figura 36: Preparação dos corpos de prova. a) Amostras sendo retiradas de diferentes partes do painel com auxílio da serra circular esquadrejadeira; b) Processo de corte em serra fita de bancada; c) Furação dos painéis em furadeira de bancada com uso de serra copo (28mm); d) Corpos de prova sendo lixados na lixadeira elétrica.



Fonte: Autora, (2023).

As propriedades observadas nas chapas, após os processos de usinagem, foram qualitativas (por meio da observação dos painéis) e levaram em consideração se houve ruptura do painel durante os processos de corte, existência de rebarbas direcionando um corte de baixa qualidade ou mesmo a textura após o corte.

3.4 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS

Para a caracterização dos painéis foram analisadas a densidade, absorção de água e inchamento, absorção acústica, termografia de infravermelho e flamabilidade que serão descritos mais detalhadamente nos tópicos que se seguem.

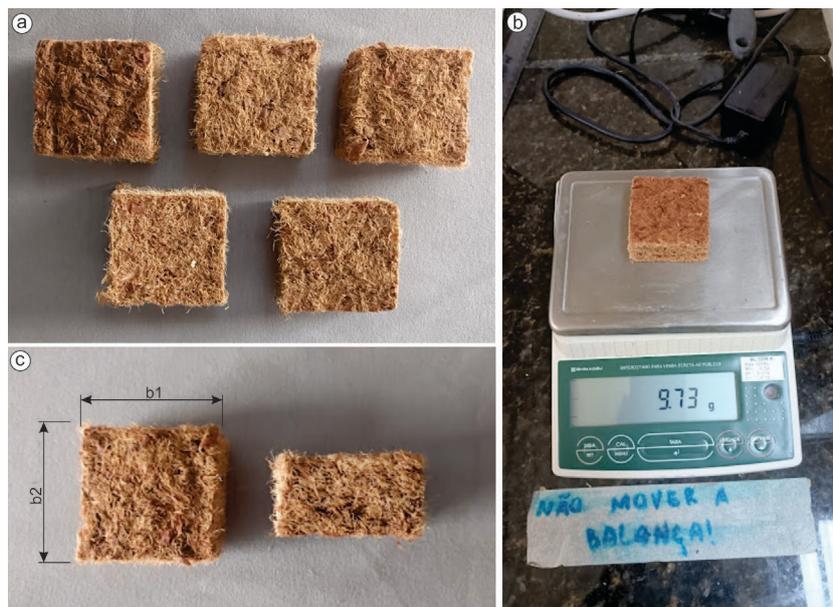
3.4.1 Densidade aparente

Os ensaios para a determinação da densidade aparente foram realizados tendo como base a ABNT NBR15316-2 de 02/2019 - Painéis de fibras de média densidade - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio, com algumas adaptações necessárias em função das peculiaridades do material.

Foram utilizados cinco corpos de prova do material, medindo 50 mm de largura, 50 mm de comprimento e 30 mm de espessura (Figura 37). Os corpos de prova foram estabilizados em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio, nas condições de 65 (\pm 5%) de umidade relativa e temperatura de 20 (\pm 3) °C.

A mensuração das amostras foi realizada utilizando um paquímetro, e para a pesagem uma balança, com resolução mínima de 0,1 g. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Painéis de Madeira - LAPAM, vinculado ao curso de Engenharia Industrial Madeireira, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas.

Figura 37: Ensaio de densidade. a) Amostras utilizadas no ensaio; b) Indicação das dimensões; c) Quantificação da massa das amostras.



Fonte: Autora, (2023).

Para calcular a densidade de cada um dos corpos de prova, foi utilizada a seguinte equação:

$$D = \frac{M}{V} \times 1000000 \quad (1)$$

Sendo

$$V = b_1 \times b_2 \times e$$

Sendo:

D é a densidade do corpo de prova expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

M é a massa do corpo de prova, expressa em gramas (g);

V é o volume do corpo de prova, expresso em milímetros cúbicos (mm^3)

$b_1 \times b_2$ são as dimensões dos corpos de prova, expressas em milímetros (mm)

e = espessura do corpo de prova

3.4.2 Absorção de água e Inchamento em espessura

Como referência para a realização dos ensaios foi utilizada a norma brasileira do MDF, ABNT NBR 15316:2015. O ensaio de absorção de água e inchamento (medição da espessura) consistiu na mensuração do aumento da massa (em água) que os corpos de prova do material apresentam, após serem imersos em água a 20 ± 1 °C.

Para o ensaio de absorção de água os corpos de prova foram pesados antes de serem imersos em água e após 2 horas foi feita nova pesagem. A expressão dos resultados segue o cálculo, conforme a equação 2:

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

A = teor de umidade do corpo de prova expresso em porcentagens (%).

M1 = massa úmida do corpo de prova, expressa em gramas (g).

M0 = massa seca do corpo de prova expressa em gramas (g).

O ensaio de inchamento é similar ao de absorção, foram determinadas as espessuras em mm dos corpos de prova antes de serem imersos em água, após 2 horas foi feita nova pesagem, depois de 22 horas uma nova pesagem foi realizada, concluindo 24 horas de ensaio. A expressão dos resultados segue o cálculo, conforme a equação 3:

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

I - Inchamento em espessura do corpo de prova, expresso em porcentagem (%);

E1- é a espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, expressa em milímetros (mm);

E0 - é a espessura do corpo de prova antes da imersão, expressa em milímetros (mm).

Os corpos de prova, utilizados para os ensaios, foram retirados de painéis PRP (Figura 38), possuem dimensões de: 50 x 50 mm, com aproximadamente 30 mm de espessura. Todos os corpos de prova foram pesados em balança digital da marca Quimis®, para verificar a massa seca.

Figura 38: Ensaio de absorção de água e Inchamento. a) Amostras medindo 50mm X 50mm X 30mm utilizadas nos ensaios; b) Amostras sendo pesadas em balança de precisão; c) Amostras acondicionados em recipiente com água.



Fonte: Autora, (2023).

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Painéis de Madeira - LAPAM, da UFPel.

3.4.3 Absorção acústica

Existem basicamente dois métodos para a medição do coeficiente de absorção sonora: o primeiro em uma câmara de testes especial, denominada de câmara reverberante; e o segundo em tubo de impedância. No presente estudo foi utilizado o tubo de impedância.

Na medição da absorção sonora usando o tubo de impedância segue-se a norma ISO 10534-2:2023 - *Acoustics- Determination of acoustic properties in impedance tubes. Part 2: Two-microphone technique for normal sound absorption coefficient and normal surface impedance*. Neste caso, um ruído de banda larga é fornecido a um alto-falante posicionado em uma das extremidades

do tubo. O alto-falante excita o campo acústico no interior de um tubo, em outro extremo encontra-se a amostra que se deseja caracterizar.

Os ensaios foram realizados em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com colaboração do Prof. Paulo Henrique Mareze, coordenador do Departamento de Engenharia Acústica, utilizando Tubo de Impedância que atende a faixa de 100 Hz até 6,4 kHz.

Para análise de absorção acústica dos painéis, foram avaliadas 5 amostras PRP com 25 mm, 5 amostras com 30 mm de espessura e 5 amostras PRNP com espessura de 30 mm. Para efeitos de comparação foi analisada uma espuma melamina utilizada para absorção acústica com espessura de 25 mm.

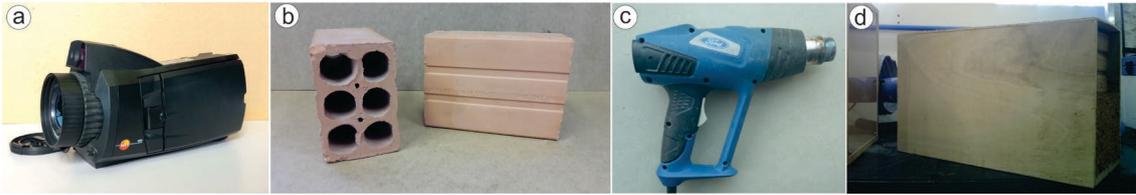
Para facilitar a interpretação, as amostras foram especificadas como:

- Amostras com resíduos processados e espessura de 25 mm – PRP25
- Amostras com resíduos processados e espessura de 30 mm – PRP30
- Amostras com resíduos não processados e espessura de 30mm – PRNP30.

3.4.4 Termografia de infravermelho

Para que um fluxo de energia térmica exista, deve haver uma fonte de calor que fluirá de zonas mais quentes para zonas mais frias, onde o calor é conduzido pelo material, através da transferência direta de energia térmica gerada pela colisão entre as moléculas, uma das formas de transmissão é o fluxo de calor por condução (SILVA JUNIOR, 2013). O ensaio de termografia de infravermelho, adaptados de Jobim *et al.* (2018), foi realizado no LdSM, UFRGS, pelo método de estimulação ativa, utilizando-se um termógrafo portátil da marca Testo modelo 890, dois blocos de cerâmica vermelha (tijolo comum furado – 6 furos) com dimensões de H14 x L19 x P9 cm e um soprador marca Ford, modelo FP-100-2, potência 2000W. Para canalizar o calor, foi construída uma caixa de MDF com dimensões de 30cm de altura, 20,5 cm de largura e 51cm de profundidade (Figura 39).

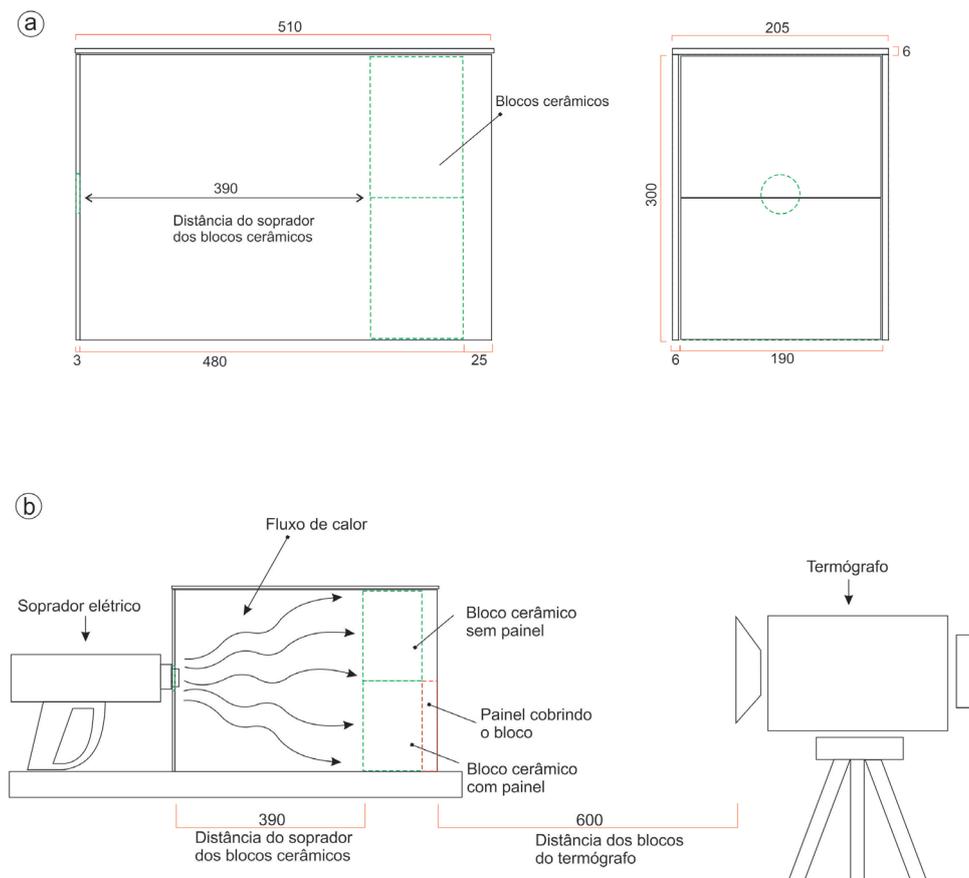
Figura 39: Materiais e equipamentos utilizados no ensaio de termografia. a) Termógrafo Testo modelo 890; b) Blocos cerâmicos; c) Soprador Skil modelo 8005; d) Caixa de Mdf de 306 x 205 x 510 mm.



Fonte: Autora, (2023).

Uma representação esquemática da caixa utilizada para canalizar o calor, o processo de aquecimento das amostras e tomada de medidas está esquematizado na Figura 40.

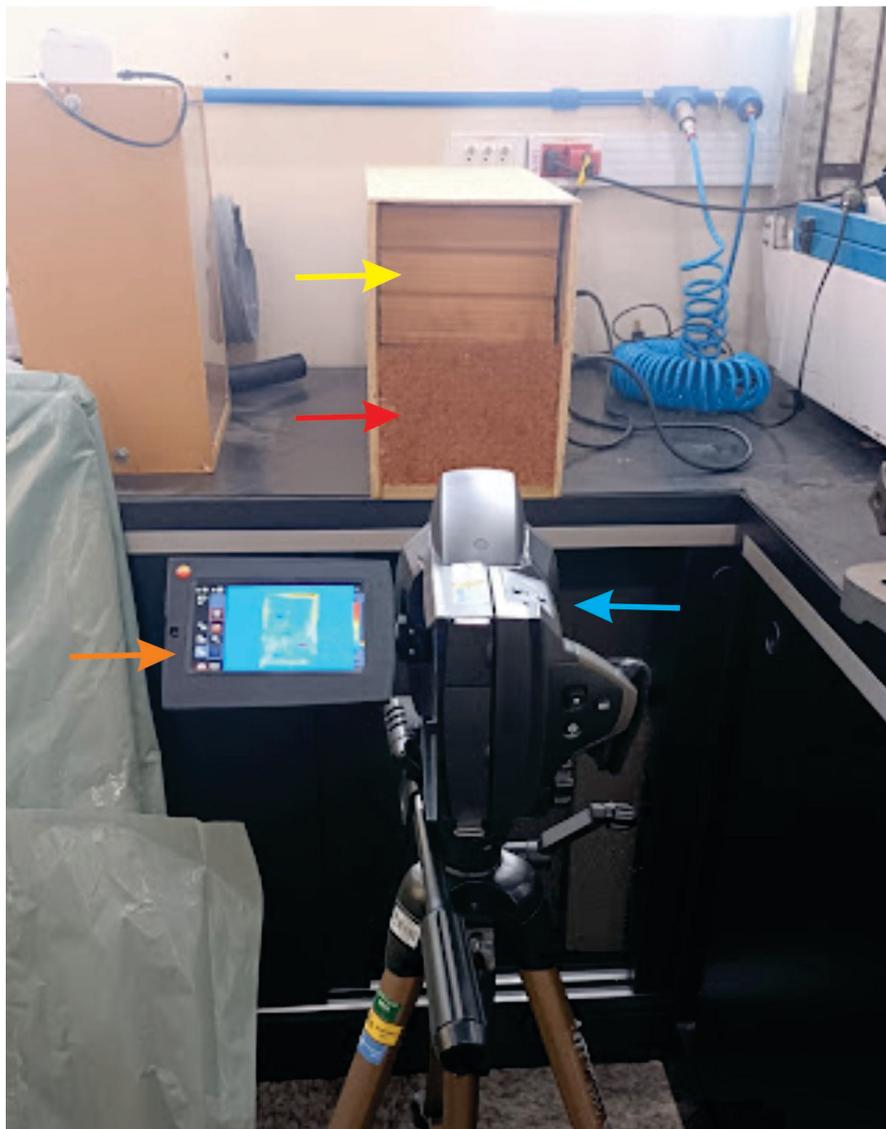
Figura 40: Representação esquemática do ensaio termográfico. a) Esquema da construção da caixa em MDF (*Medium Density Fiberboard*) de 6 mm com dimensões de H306 x L205 x P510 mm, utilizada para canalizar o calor, indicando a distância do soprador da posição dos blocos cerâmicos; b) esquema indicando a posição do soprador e a distância do termógrafo em relação aos blocos.



Fonte: Adaptada de Jobim *et al.* (2018).

Para conduzir este ensaio, os blocos foram utilizados para vedar a parte frontal da caixa, sendo que um deles foi revestido com um painel de espessura de 25mm. O soprador foi posicionado na parte posterior da caixa, a fim de irradiar o calor para os blocos, mantendo uma distância de 39 cm da parte posterior das amostras, e essas, permaneceram a uma distância de 60 cm do equipamento de termografia. A Figura 41 ilustra o início do processo, seta amarela indica o bloco sem cobertura, seta vermelha indica o bloco coberto pelo painel (PRP) de 25mm, seta azul indica o termógrafo e a seta laranja destaca as imagens sendo captadas.

Figura 41: Ensaio de termografia em andamento.



Fonte: Autora, (2023).

A temperatura ambiente no momento da medição foi de 22 °C. As imagens termográficas foram captadas da face frontal dos blocos aos 5, 10, 30 e 45 minutos de aquecimento e analisadas pelo software Testo IRSoft.

3.4.5 Flamabilidade

A avaliação do desempenho dos materiais é conduzida por meio de ensaios experimentais que avaliam a sua performance sob condições específicas. Assim, com o objetivo de investigar o comportamento dos painéis de resíduos de frutos de butiá e sua reação ao fogo, foi realizada uma experimentação para avaliar o desempenho destes em relação a propagação de chamas. Para o teste foram utilizados os seguintes materiais (Figura 42):

- Dois painéis PRP hexagonais;
- Atichamas R3D1111-FN – IIA;
- Maçarico JH-1ST;
- Régua graduada;
- Cronômetro.

Figura 42: Materiais utilizados no experimento. a) Painéis PRP utilizados no ensaio; b) Maçarico utilizado no ensaio; c) Antichamas para fibras naturais R3D1111-FN aplicado no painel.



Fonte: Autora, (2023).

Por se tratar de painéis de fibras vegetais de resíduos secos, e para comparar os resultados, foi utilizado um painel natural⁹, e no outro foi aplicado um antichamas para fibras naturais, fornecido pela empresa R3D Engenharia, o R3D1111-FN - IIA, produto desenvolvido para fibras naturais (sapé, piaçava,

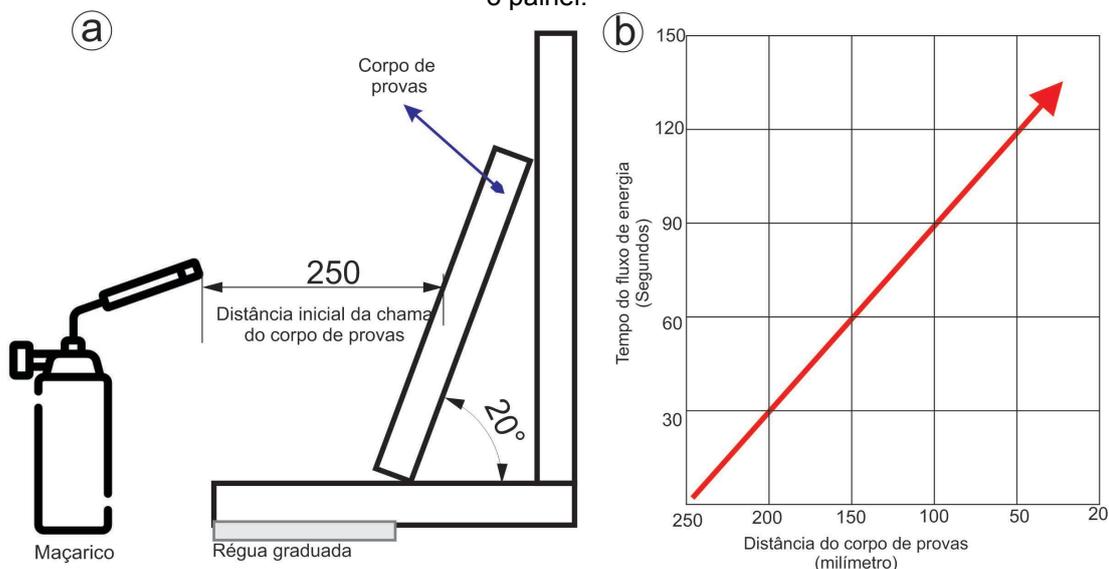
⁹ Sem adição de antichamas.

carnaúba e palha, celulose e outros), sua ação consiste em inibir a propagação das chamas, evitando que o fogo se alastre a outros ambientes e materiais combustíveis. A indicação de aplicação é de 250ml por m².

A metodologia aplicada está representada na Figura 43, e foi utilizada como referência NBR 9442 - Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante, para a estruturação do experimento.

Inicialmente os painéis foram colocados na vertical de modo a formar um ângulo de 15° a 20° com a base (Figura 43 a). O queimador foi posicionado a uma distância inicial de 250 mm e a cada 30 segundos a distância foi sendo reduzida, seguindo os seguintes intervalos: 30 segundos a 250 mm; 30 segundos a 200 mm; 30 segundos a 150 mm, 30 segundos a 100 mm, 30 segundos a 50 mm e 30 segundos a 20 mm (Figura 43 b).

Figura 43: Esquema do experimento de propagação de chamas. a) Esquema de posicionamento dos equipamentos; b) Gráfico de tempo x distância percorrida pela chama até o painel.



Fonte: Autora, (2023).

Logo após a válvula de gás foi aberta, e a chama foi regulada a uma altura de 38 mm ± 2 mm com baixa vasão e acionou-se o cronômetro. A cada intervalo de tempo pré-definido (30 segundos), o maçarico foi aproximado (50 mm) da amostra. A medição do tempo de queima foi concluída quando a chama atingiu a marca de referência de 20 mm. Posteriormente os painéis foram verificados.

Passados 60 minutos, foi efetuada uma nova inspeção para avaliar os efeitos do fogo.

Para facilitar a descrição do processo do experimento de flamabilidade os painéis foram denominados como: Painel Com Antichamas - (PCA) e Painel Sem Antichamas - (PSA).

A Figura 44, demonstra o início do processo da análise da ação do fogo nos painéis, a seta amarela indica a posição do maçarico com a válvula de gás aberta e a chama regulada. As setas vermelhas indicam a graduação pré-definida para o avanço do maçarico; a seta azul o painel utilizado no ensaio e a seta verde a inclinação do painel com a base.

Figura 44: Esquema utilizado no ensaio de queima do painel.



Fonte: Autora, (2023).

Esse ensaio foi realizado na oficina de refrigeração do Instituto Federal Sul Riograndense (IFSul), em ambiente climatizado a uma temperatura de 26 °C, com a colaboração do técnico Leandro Tavares, funcionário do IFSUL.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados, inicialmente, os resultados da caracterização dos resíduos dos frutos, descrevendo detalhes morfológicos, assim como as propriedades químicas. Logo após descreve os resultados das modelagens e caracterização dos painéis.

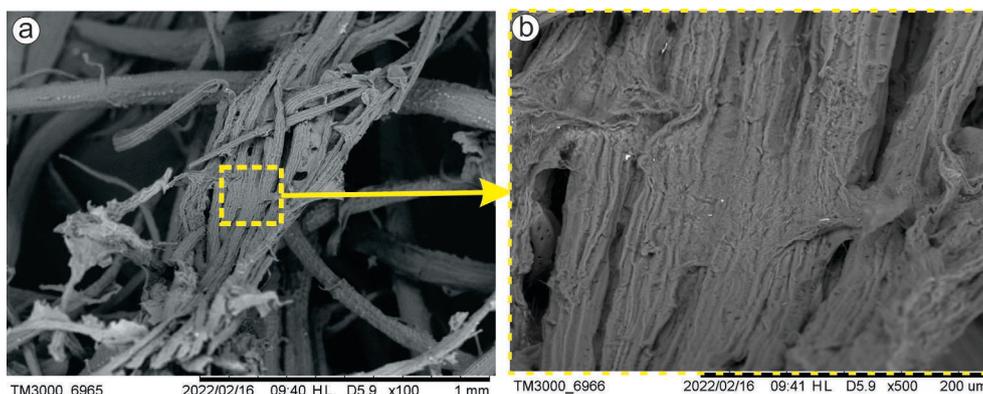
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DOS FRUTOS DE BUTIÁ

A caracterização dos resíduos dos frutos de butiá constitui a etapa destinada à compreensão de seu aspecto geral e de seus constituintes, proporcionando informações mais precisas sobre sua composição e morfologia.

4.1.1 Microscopia Eletrônica de Varredura - Mev

A observação de estruturas em escala micrométrica permite a visualização da microestrutura do material, e contribuem na compreensão de como essas unidades dão ao material determinado comportamento e propriedades. A morfologia dos resíduos secos dos frutos de butiá pode ser visualizada na Figura 45, é possível observar que a adesão se processa através do entrelaçamento das fibras. Além disso, essas fibras encontram-se envoltas pelos resquícios da polpa seca, o que também colabora para a coesão do material.

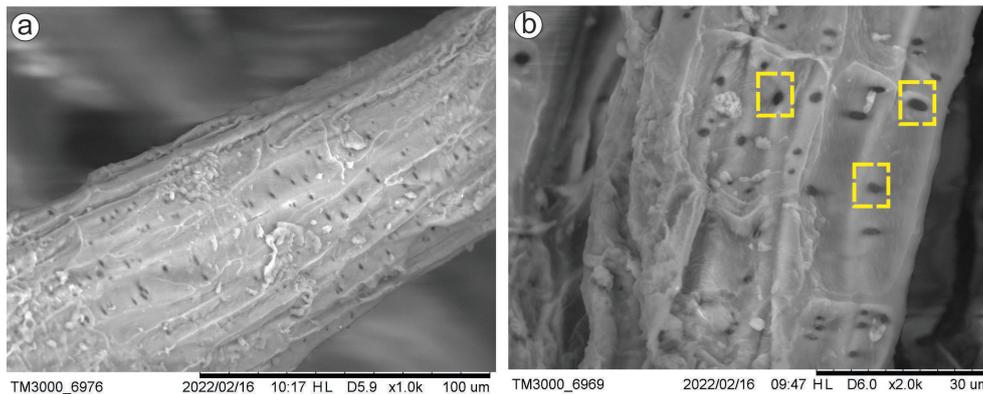
Figura 45: Microscopia eletrônica dos resíduos dos frutos de butiá. a) Fibras entrelaçadas, envoltas pelos resquícios de polpa seca provenientes do processo de despolpa; b) Detalhe mostrando resquícios de polpa seca.



Fonte: Autora, (2023).

Na Figura 46, identificam-se os canais de comunicação (circulados em amarelo) entre as células, o que resulta em um material hidrofílico. Essa característica morfológica caracteriza um material com altos índices de absorção de água, já que os canais de comunicação possibilitam a entrada da água no interior da estrutura. Uma estrutura morfológica similar é observada no mesocarpo do Porongo (*Lagenaria siceraria*), identificado por Nejeliski (2015).

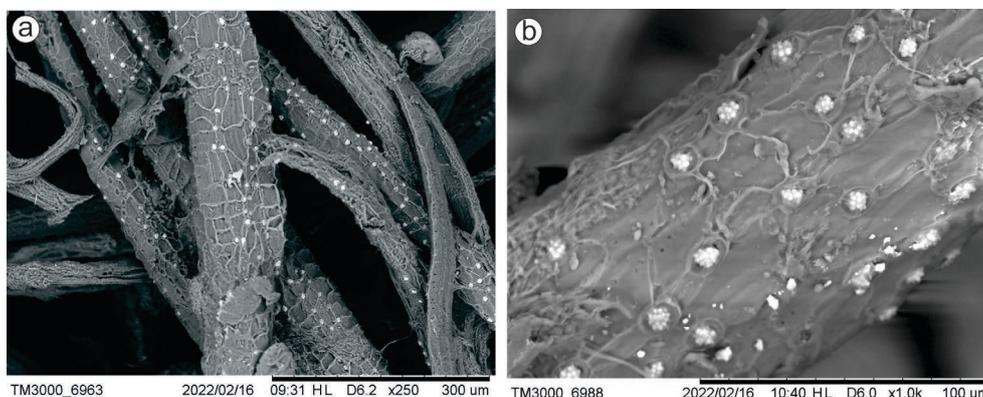
Figura 46: Microscopia eletrônica dos resíduos dos frutos de butiá. a,b) Fibra mostrando os canais de comunicação entre as células (quadrado amarelo).



Fonte: Autora, (2023).

Na Figura 47, observa-se pequenos cristais multifacetados, constituídos por sílica, que compõem um estegmato - células características que circundam a superfície dos feixes condutores e apresentam substâncias ergásticas constituídas de cristais do tipo drusa, de composição química de sílica.

Figura 47: Microscopia eletrônica dos resíduos dos frutos de butiá. a,b) Fibras mostrando os cristais multifacetados, constituídos por sílica, que compõem um estegmato que circundam a superfície dos feixes condutores.



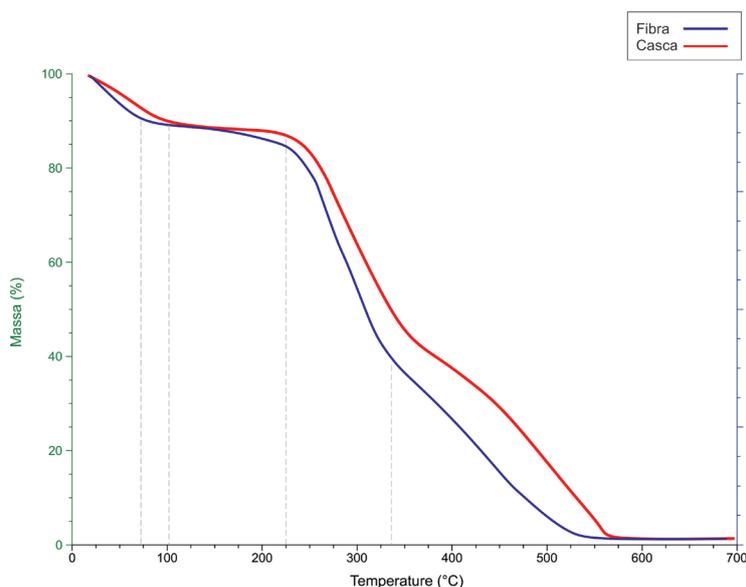
Fonte: Autora, (2023).

Esses mesmos cristais também foram identificados na caracterização das fibras de tururi (*Manicaria saccifera*) Oliveira (2011) e nas fibras da Palmeira Leque (*Livistona chinensis*) Jobim (2018), segundo a autora, com auxílio do EDS (*Energy Dispersive System*), foi possível identificar a sílica, não apenas em forma de estegmato, mas também incrustada nas paredes celulares, de acordo com Costa *et al.* (2006), servem como proteção contra o ataque de insetos.

4.1.2 Análise Termogravimétrica - TGA

Na análise termogravimétrica podem ser observadas quatro fases envolvidas na pirólise de material celulósico: até os 150 °C ocorre a perda da água absorvida, entre 230 °C e 260 °C é observado o início da decomposição dos biopolímeros, principalmente hemicelulose, por fim, entre 240 °C e 400 °C ocorre a decomposição da celulose e da lignina, sendo o primeiro o processo dominante nessa etapa (ÓRFÃO; FIGUEIREDO, 2001). Os resultados dos ensaios de ATG realizados nas amostras dos resíduos dos frutos de butiá (casca e fibras) estão ilustrados na Figura 48, que apresenta o comportamento das curvas de análise termogravimétrica, destacando a porcentagem de perda de massa com o aumento da temperatura.

Figura 48: Gráfico das Análises termogravimétricas dos resíduos dos frutos de butiá. Sobreposição das Curvas de TG dos resíduos dos frutos de butiá com aquecimento de 10 °C min⁻¹, de 30 a 700 °C.



Fonte: Autora, (2023).

Nos gráficos termogravimétricos é possível observar os estágios de decomposição similares entre as amostras, ao se aproximarem de 100 °C as fibras apresentaram perda de massa de 10% relativas à perda da água absorvida. Esse dado concorda com valores identificados para outros materiais lignocelulósicos como o buriti e curauá (cerca de 80 °C) identificados por Barbosa (2011) e o buriti (cerca de 100 °C) detectado por Oliveira (2010).

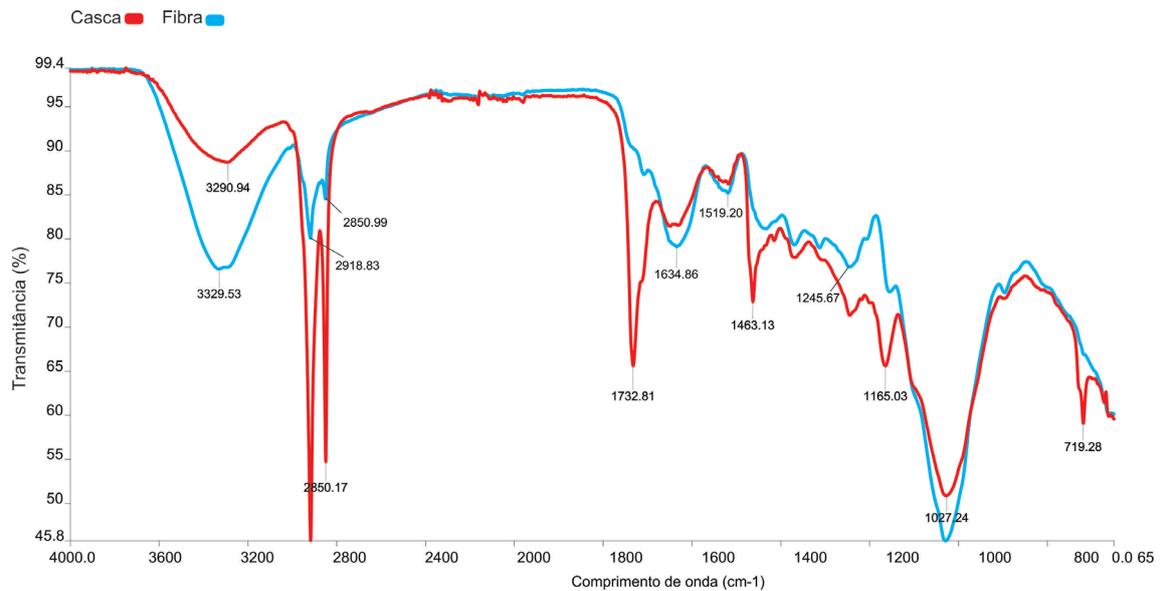
É observado também que até 250 °C, as fibras dos resíduos dos frutos de butiá podem ser consideradas termicamente estáveis, com pequenas perdas de massa. Nessa faixa de temperatura, inicia-se a decomposição dos biopolímeros, estando ela relacionada à degradação da hemicelulose e lignina. Esse comportamento é comparável com o identificado em relação a *Luffa cylindrica* (TANOBE, *et al.*, 2005) e a parte interna do Porongo (NEJELISKI, 2015), o início da degradação acontece em 250 °C, sendo mais elevados que os descritos para as fibras de coco (TOMCZAK, *et.al*, 2010).

Na sequência, entre 310 °C e 370 °C observa-se outro evento, correspondente ao início da decomposição da celulose, e a partir de 470 °C, está associado a decomposição da lignina. Até 500 °C, ocorre carbonização com perda acentuada de material.

4.1.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR

Na Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR, obtivemos os espectros de infravermelho da casca e das fibras separadamente. Apesar da semelhança, são de difícil interpretação, pois cada espectro é o resultado de bandas de sobreposição da lignina, hemicelulose, celulose e dos extrativos (PASTORE, 2008). Destacaram-se 10 bandas para as amostras estudadas, como pode ser visualizado na Figura 49.

Figura 49: Espectros de infravermelho dos resíduos (casca e fibras) dos frutos de butiá indicando as bandas de absorção.



Fonte: Autora, (2023).

Os espectros indicaram uma banda entre 3290 cm^{-1} e 3329 cm^{-1} referente ao grupo hidroxila livre e está associada à presença de celulose amorfa, hemicelulose e lignina na fibra. As bandas em 2918 e 2850 cm^{-1} estão relacionadas ao estiramento C-H alifático e aromáticos de carboidratos e lignina. As bandas entre 1732 cm^{-1} pode ser atribuída ao estiramento dos grupos carbonila da hemicelulose. As bandas entre 1616 cm^{-1} e 1635 cm^{-1} estão associadas a unidade da fibra. As bandas em 1519 cm^{-1} (vibrações de anel aromático) são características de lignina e em 1463 cm^{-1} podem estar relacionadas ao estiramento da ligação C-C no anel aromático; as bandas 1245 cm^{-1} , são atribuídas ao estiramento dos grupos acetil da hemicelulose e a banda em 1165 cm^{-1} podem ser atribuídas ao estiramento dos grupos acetil da hemicelulose. Entre 1041 e 1027 cm^{-1} pode ser a vibração do grupo C-H em celulose. Um pico na faixa de 719 cm^{-1} pode estar relacionado com a vibração C-H da celulose (PASTORE, 2008; SANCHES *et al.*, 2014; CHUN *et al.*, 2016).

As posições das bandas de absorção no infravermelho das amostras analisadas estão relacionadas na Tabela 1 com as respectivas atribuições, e correspondem a bandas já descritas na literatura para diferentes fibras vegetais.

Tabela 1: Posição das bandas e atribuições dos espectros de FTIR das amostras analisadas.

Casca	Fibra		Atribuição	Ref.
3329	3290	ν (O-H)	Água; celulose, hemicelulose, lignina	[1] [2]
2918	2918	ν (CH ₂)	Lignina, carboidratos	[2] [3]
2850	2850	ν (CH ₂)	Lignina, carboidratos	[2] [3]
1732		ν (C=O) não conjugada	Hemicelulose e celulose	[2] [3] [5]
1634	1634	(O-H)	H ₂ O adsorvid /H ₂ O adsorvida	[3] [5]
1519	1519	ν (C=C) aromático	Lignina	[2] [5]
1463		δ (CH)	Lignina, carboidratos	[1] [2]
1245	1245	ν (C-O)	Hemicelulose, lignina	[1] [2]
1165	1165	ν (C-O)	Hemicelulose, celulose	[1] [2]
1027	1027	δ (C-H, C-O)	Hemicelulose, Celulose	[1] [2]
719		γ (C-H)	Celulose	[4] [6]

[1] Pavia *et al.*, (2010); [2] Pastore, (2008); [3] Boniolo, (2010); [4] Lavall, (2010); [5] Ormaghi Junior *et al.* (2016); [6] Dassanayake *et al.* (2023)

Nos espectros, é possível observar os movimentos para as bandas típicas de absorção presentes nas fibras lignocelulósicas relacionadas com a celulose, hemicelulose e lignina, compostos por diferentes grupos funcionais contendo oxigênio (ésteres, aromáticos, cetonas, álcoois, etc.) (RAMESH *et al.*, 2013; BONIOLO *et al.*, 2010).

4.1.4 Composição Química e umidade

As fibras vegetais são constituídas essencialmente por celulose, hemicelulose e lignina, possuem diferentes propriedades físicas, térmicas e mecânicas, essas características podem ser estimadas com base na sua composição química, pelo menos como uma primeira estimativa (ORNAGHI JR *et al.*, 2020). Os resultados obtidos de umidade e composição química dos resíduos dos frutos de butiá estão indicados na Tabela 2.

Observa-se que balanço de massa não atinge 100%, o que é atribuído a presença de outros compostos de baixa massa molar e extrativos solúveis em diferentes solventes, que não foram determinados nessa análise. O teor médio de umidade obtido foi de 14,16%, entretanto, no caso de fibras vegetais, estas apresentam características hidrofílicas, decorrentes da presença de celulose não cristalizada e hemicelulose.

Tabela 2: Valores dos resultados obtidos na composição química e umidade dos resíduos dos frutos de butiá.

Determinações (%)	Resultados (%)
Umidade	14,16
Fibra Detergente Neutro – FDN	63,88
Fibra Detergente Ácido - FDA	32,39
Celulose	25,22
Hemicelulose	31,49
Lignina	7,17
Cinzas	3

Fonte: Autora, (2023).

A lignina é um constituinte da parede celular que ocorre na maioria das plantas, é um elemento estrutural que proporciona à planta propriedades de elasticidade e resistência, sua composição não é idêntica em todas as plantas (MARINHO *et al.*, 2012). O valor encontrado para a lignina foi de 7,17%, está próximo aos valores do curauá (7%) (SPINACÉ *et al.* 2011)) e sisal (7,6 – 12%) (AMICO *et al.*, 2011). A lignina é um material hidrofóbico, na ATG é representada pela última curva do gráfico, é o último elemento a se decompor pela ação do aumento da temperatura.

No gráfico da TGA, a celulose é responsável pela faixa de maior degradação térmica varia de acordo com sua origem e processamento e fibras contendo mais celulose cristalina podem atingir maior resistência à tração (ORNAGHI JR. *et al.*, 2014). O valor encontrado para a celulose de 25,22% de massa se aproxima ao da fibra de piaçava (31,6%) (ALMEIDA, 2006).

A hemicelulose, por sua vez, é bastante hidrofílica e é responsável pela maior parte do comportamento de degradação térmica e do teor de umidade. De acordo com Ornaghi Jr. *et al.* (2014), as fibras com alto teor de hemicelulose deveriam absorver mais água e degradar-se a temperaturas mais baixas. Na composição química, o valor encontrado para a hemicelulose de 31,49% está próximo aos valores do bagaço da cana-de-açúcar (27–32%) e do bambu (30%), descritos por Satyanarayana *et al.* (2007).

Vale ressaltar que a composição química das fibras naturais pode variar, pois há diversos fatores, tais como condições climáticas e de plantio; idade e parte da planta de que são extraídas, resultando em uma alta variedade, tanto na composição das fibras, que influenciam em suas propriedades mecânicas

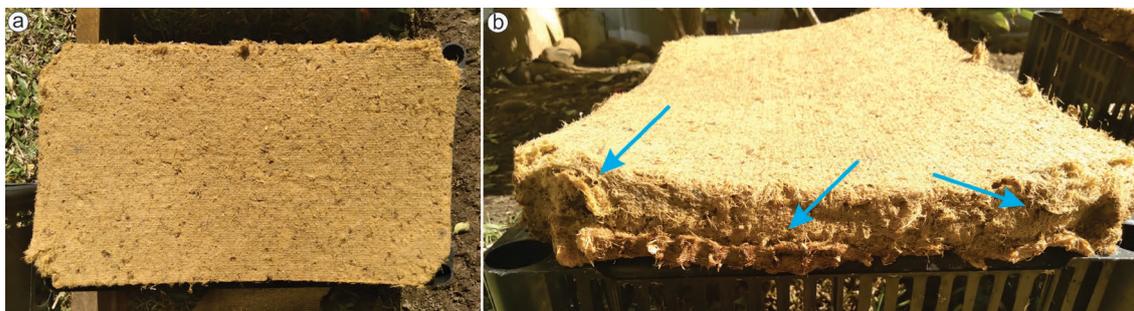
(BLEDZKI; GASSAN, 1999). O conhecimento da composição química das fibras lignocelulósicas é importante para a compreensão e sua influência nas características de um compósito e, também, na escolha dos tratamentos químicos.

4.2 MODELAGEM DOS PAINÉIS

4.2.1 Produção dos painéis - Teste 1

O painel modelado na caixa, que teve a superfície de contato com as fibras revestida com tecido, exibiu uma estrutura e acabamento de superfície mais satisfatório. A área de contato com o tecido propiciou o desenvolvimento de uma textura superficial mais uniforme, conforme observado na Figura 50a. Nas laterais o acabamento evidenciou as disparidades de espessura e as rebarbas, indicadas pelas setas azuis (Figura 50 b).

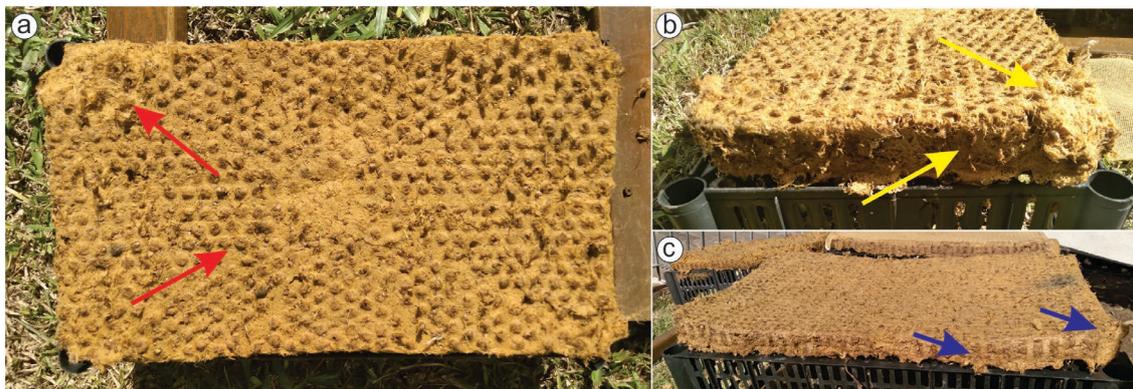
Figura 50: Painel retirado da caixa revestida com tecido étamine. a) Painel retirado da caixa que foi revestida com tecido mostrando o acabamento superior; b) Acabamento lateral indicando pelas setas azuis e a irregularidade da forma.



Fonte: Autora, (2023).

Os painéis modelados nas caixas sem revestimento apresentaram acabamento superficial inferior aos que foram modelados na caixa forrada com revestimento. Verificou-se que os painéis adquiriram textura análogas a superfície interna da caixa de frutas, evidenciado tanto nos cantos quanto no fundo, conforme ser visualizado na Figura 51a. Também pode-se observar que a presença de rebarbas nos acabamentos laterais, fenômeno atribuído as dimensões dos vazados nas extremidades das caixas (Figura 51 b,c setas amarelas e azuis).

Figura 51: Painel modelado em caixa sem ser forrada com o tecido. a) Painel mostrando o acabamento superior e os cantos; b,c) Vista lateral do painel retirado da caixa sem o tecido mostrando o acabamento lateral e superior (setas amarelas e azuis).



Fonte: Autora, (2023).

A partir dos resultados dos primeiros painéis produzidos, o acabamento foi considerado insatisfatório, mas foi possível constatar a facilidade que o material se moldou ao formato e às texturas das superfícies das caixas. Assim optou-se pela confecção de moldes com tampas e formatos diferentes para melhorar o acabamento e para quantificar os resíduos necessários para produção de cada painel para, deste modo, tentar manter uma regularidade na produção, mesmo sendo um método artesanal.

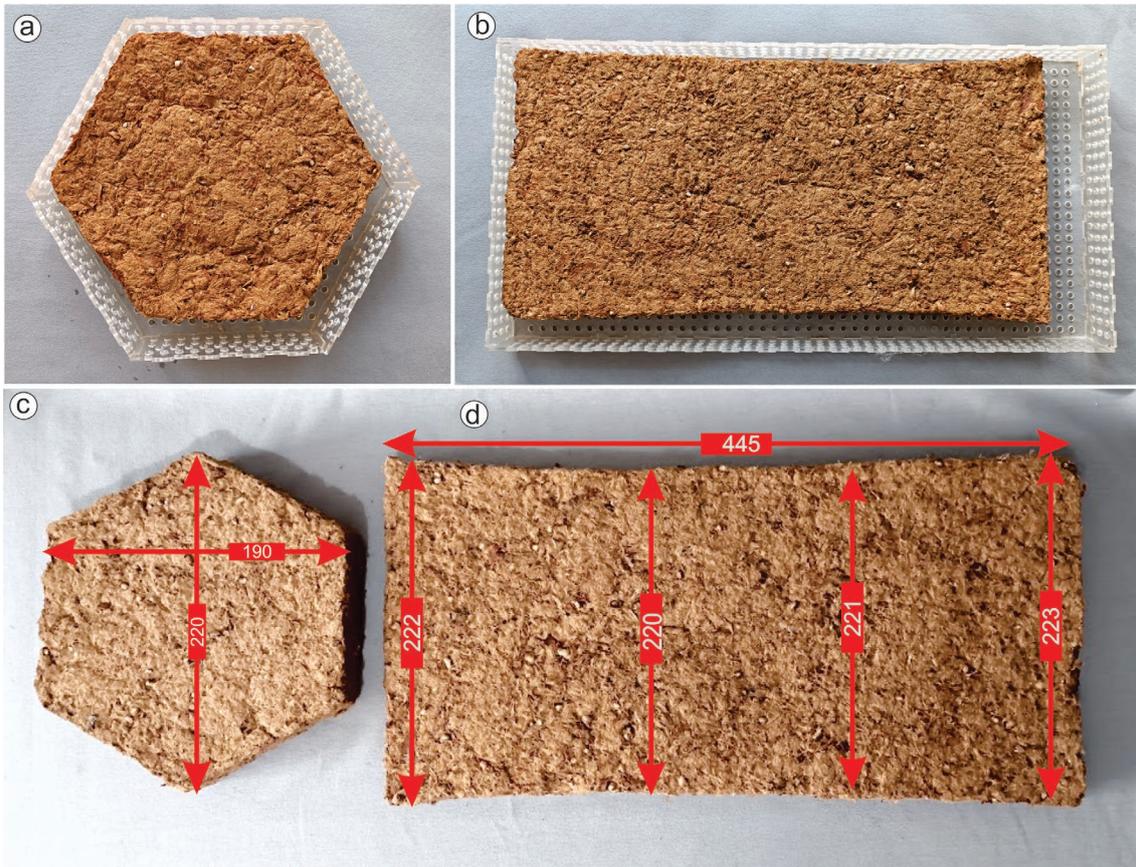
4.2.2 Produção dos painéis – Teste 2

Na segunda etapa, após a secagem, os painéis foram analisados quanto às dimensões finais e, novamente, tiveram suas massas medidas. Foi observada a diminuição do volume da peça, tanto na espessura quanto na largura, devido a evaporação da água (Figura 52). A amostra retangular pesou 410 g e as hexagonais variaram entre 156 g e 178 g.

A dimensão do painel retangular apresentou uma redução de 50 mm (11,53%) no comprimento da peça. Na largura as dimensões foram variadas, entre 22 mm a 20 mm (12,25%) (Figura 52d), essa desigualdade de retração nas laterais (abaulamento), pode ser associada à disposição irregular das fibras. Na espessura essa redução foi de aproximadamente 10 mm (28,57%). Os painéis hexagonais apresentaram uma redução de aproximadamente 20 mm na largura

(10,20%). Na espessura, também ocorreram variações com alturas entre 27 mm e 25 mm.

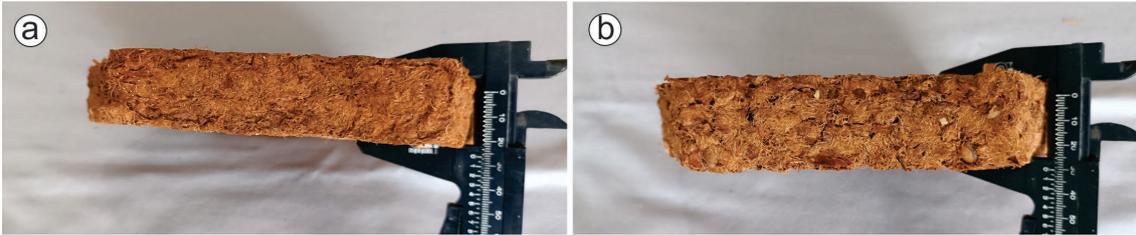
Figura 52: Painéis após o processo de secagem. a) Pannel hexagonal depois do processo de secagem dentro do molde; b) Pannel retangular depois do processo de secagem dentro do molde; c,d) Painéis indicando as dimensões finais.



Fonte: Autora, (2023).

Nos painéis PRNP, as espessuras variaram entre 28 mm a 32 mm (20%), correspondendo a aproximadamente 10 mm de redução. Já nos painéis PRP, embora sendo utilizado a mesma quantidade de resíduos, as amostras apresentaram espessuras entre 26 mm e 31 mm (30%) na mesma peça (Figura 53).

Figura 53: Painéis sendo mensurados. a) Painel PRP, sendo mensurado indicando a dimensão de 26mm; b) painel PRNP sendo mensurado indicando a dimensão de 32mm.



Fonte: Autora, (2023).

A disparidade na espessura é atribuída ao tamanho do resíduo e forma de deposição do material, apesar da tentativa de manter o padrão de produção, trata-se de um processo artesanal.

Em relação os atributos de cor dos painéis, é possível observar que apresentam diferentes tons de marrom após a secagem, como pode ser visualizado na Figura 54, alguns levemente mais claros que os outros. Um dos fatores que corrobora para as variações nas colorações adquiridas é a intensidade de insolação, ou seja, quanto mais elevada a temperatura, por exemplo, próximo ao meio-dia, mais intensa é a coloração adquirida pelos painéis.

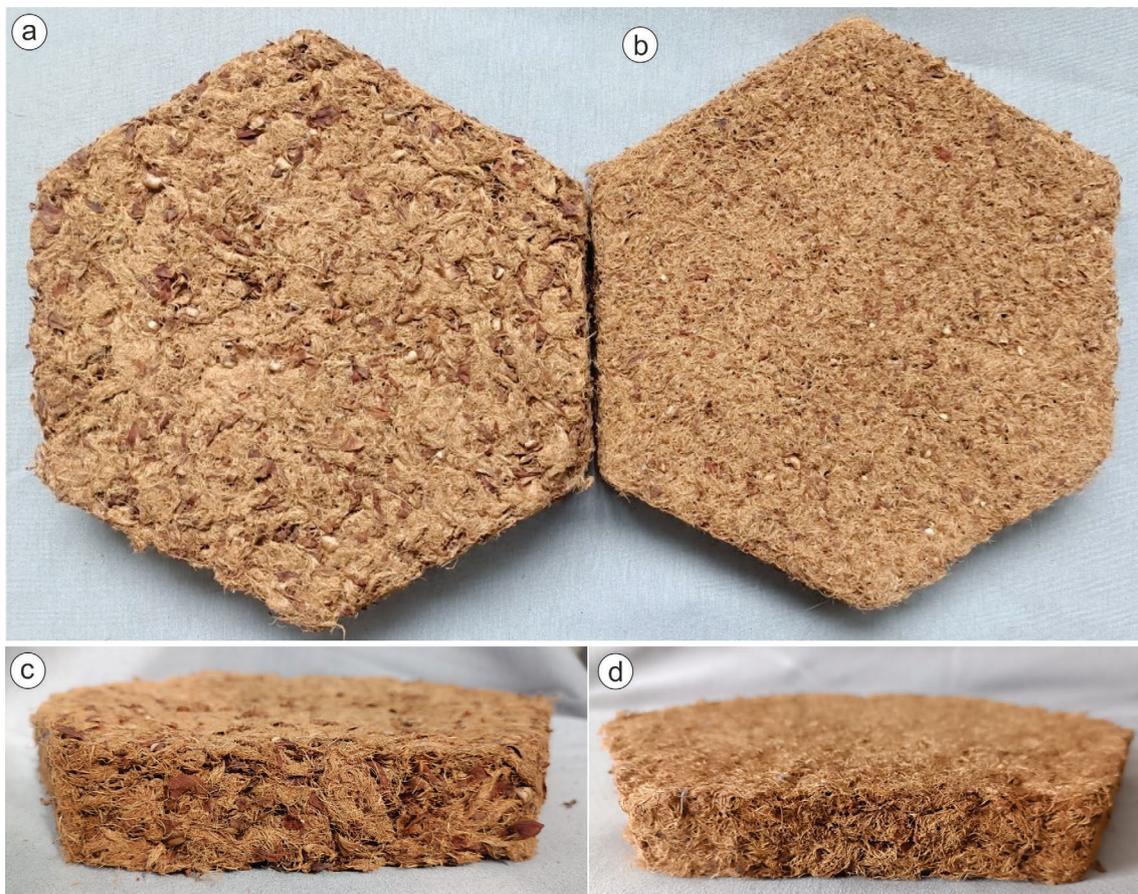
Figura 54: Painéis expostos lado a lado mostrando os diferentes tons de marrons de cores após a secagem.



Fonte: Autora, (2023).

O acabamento superficial se destaca nos PRNP, apresentam um aspecto rústico, visto que ficam expostas as partes das cascas que não desmancharam no processo de obtenção da polpa, e ressaltam as tramas aleatórias das fibras. Nos painéis PRP, o aspecto é mais homogêneo, pois passa por um segundo processamento com o uso do liquidificador, como pode ser visualizado na Figura 55.

Figura 55: Texturas dos painéis. a) Vista superior do painel PRNP mostrando o aspecto rústico do painel; b) Vista superior do painel PRP mostrando o aspecto mais homogêneo do painel; c) Vista lateral do painel PRNP; d) Vista lateral do painel PRP.



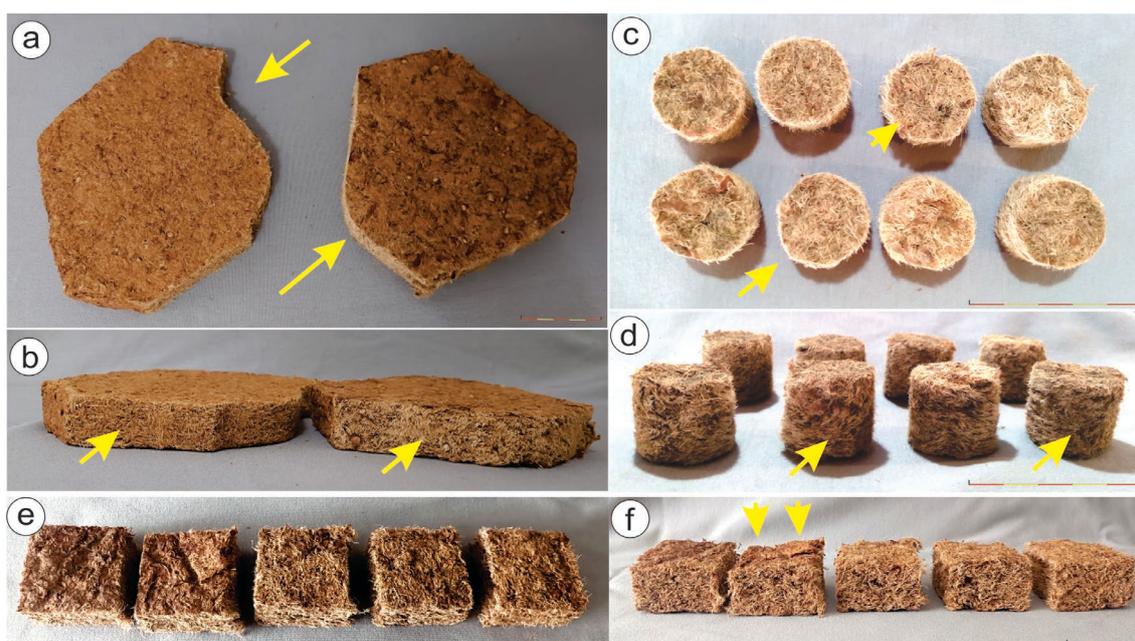
Fonte: Autora, (2023).

Os materiais exercem uma função importante no processo de concepção de um produto e, segundo Calegari e Oliveira (2013), a aquisição de um artefato implica na apropriação dos significados a eles associados. No caso dos painéis produzidos com resíduos dos frutos de butiá, esses vêm carregados de caráter simbólico, com características únicas e representativas da região, evidenciando elementos culturais, históricos e geográficos que os tornam especiais e autênticos.

4.2.3 Preparação dos corpos de provas

Na produção das amostras, uma análise qualitativa realizada por meio da observação dos painéis em função do processo de corte, observou-se que os painéis permitiram ser usinados por meio das máquinas sem dificuldade. Com a serra circular esquadrejadeira foram retirados pequenos quadrados de 50 mm x 50 mm (Figura 56) de diferentes partes dos painéis. Com auxílio da se serra fita, foram efetuados cortes curvos e em ângulos (Figura 56b). Com a furadeira de bancada foram retiradas amostras para serem utilizadas no tubo de impedância.

Figura 56: Preparação dos corpos de prova. a) Painel após os cortes curvos (setas amarelas) realizados com auxílio da serra fita. b) Amostras indicando o acabamento (setas amarelas) após o corte com auxílio da serra fita; c) Vista superior das amostras feitas com auxílio da serra copo; d) Corpos de provas para serem utilizados no tudo de impedância após serem lixadas; e) Corpos de prova medindo 50mm X 50mm; f) Vista lateral dos corpos de prova indicando as diferenças de altura (setas amarelas).



Fonte: Autora, (2023).

Os painéis apresentaram boa integridade antes e após os cortes de retirada dos corpos de prova, também não foi observada a geração de trincas nas amostras. As superfícies dos cortes indicaram uma textura irregular atribuída a disposição às fibras no material (Figura 56d, setas amarelas).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS

Para a caracterização dos painéis foram realizados os ensaios de densidade aparente, absorção de água e inchamento, absorção acústica, termografia de infravermelho e inflamabilidade.

4.3.1 Densidade aparente

Para o cálculo da densidade aparente foram utilizados os valores de massa, os dados do volume foram transformados de milímetro cúbico (mm^3) para centímetro cúbico (cm^3). De acordo com o método adotado para calcular a densidade, os valores obtidos encontram-se na Tabela 3, indicam que os painéis de resíduos dos frutos de butiá são de densidade baixa.

Tabela 3: Valores obtidos no ensaio de densidade.

	Espessura (cm)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Massa (g)	Resultado (g/cm³)
Amostra 1	3,05	5,04	5,02	10,19	0,132
Amostra 2	2,63	5,12	5,10	13,70	0,198
Amostra 3	2,75	5,10	5,10	12,89	0,179
Amostra 4	2,74	5,12	5,08	13,48	0,188
Amostra 5	3,02	5,08	5,05	13,05	0,168
				Média	0,179

Fonte: Autora, (2023).

Os valores de densidade aparente encontrados para os painéis são semelhantes a densidade de algumas espumas poliméricas, como a espuma de PVC (0,09 a 0,130 g/cm^3) e de PU (0,08 a 0,150 g/cm^3). Quando comparado com outros materiais naturais de fontes renováveis, possui densidade menor que a do bambu (0,8 g/cm^3) e a da cortiça (0,3 g/cm^3), sendo a densidade da madeira balsa com os valores mais semelhantes (0,2 g/cm^3). Comparado com materiais fibroso industrializados como placas e mantas de lã de vidro (0,3 g/cm^3) (ASHBY, 2011).

Quando se trata de absorção sonora, a densidade do material é um fator significativo, pois segundo Bistafa (2011), os materiais empregados para

melhorar o nível de reverberação de ambientes são leves, de baixa densidade, fibrosos ou porosos.

4.3.2 Absorção de água e Inchamento em espessura

As medições e os resultados dos ensaios de absorção (AA) e inchamento (I) estão indicadas na Tabela 04.

Tabela 4: Valores obtidos nos ensaios de Absorção de água (AA) e inchamento (I) dos painéis.

AM	IE % (2H)	AA 2H (%)	IE % (2H)	AA 24H (%)
AM 1	11,36	546,65	14,92	555,28
AM 2	11,09	541,74	13,62	547,40
AM 3	14,06	576,59	10,86	563,72
AM 4	11,57	531,33	11,67	535,37
AM 5	13,25	573,51	10,96	559,24
MÉDIA	12,27	553,96	12,41	552,20

Fonte: Autora, (2023).

Não há especificação de valores máximos para absorção de água na norma referenciada (ABNT NBR 15316:2015), mas é possível observar que os corpos de prova apresentaram altos índices de absorção de água após a primeira pesagem realizada, depois de duas horas de imersão, indicando que os painéis são hidrofílicos e o processo de absorção de água ocorre rapidamente. A absorção de água, leva em consideração os espaços vazios existentes no material, que podem ser visualizados nas imagens do MEV (Figuras 44 e 46). A baixa densidade também corrobora para absorção de água dos painéis.

Quanto ao inchamento em espessura, segundo a NBR 15316-2, no que se refere a requisitos para painéis não estruturais para uso em condições secas, especifica o valor de 10 % para espessuras >19 a 30 mm, como requisito máximo após 24 horas. No caso dos PRP (Painéis com Resíduos Processados), o valor do inchamento, na dimensão da espessura, após duas horas, foi de 12,27%, ocorrendo pouca variação depois de 22h. A média foi 12,41%, e esse valor

corresponde ao valor para painéis ultralight não estruturais para uso em condições secas, utilizados como isolantes, com resistência mecânica limitada, para uso em condições secas que é de 13 mm (NBR 15316-2). Vale destacar que os PRP não utilizam resina na sua produção.

4.3.3 Absorção Acústica

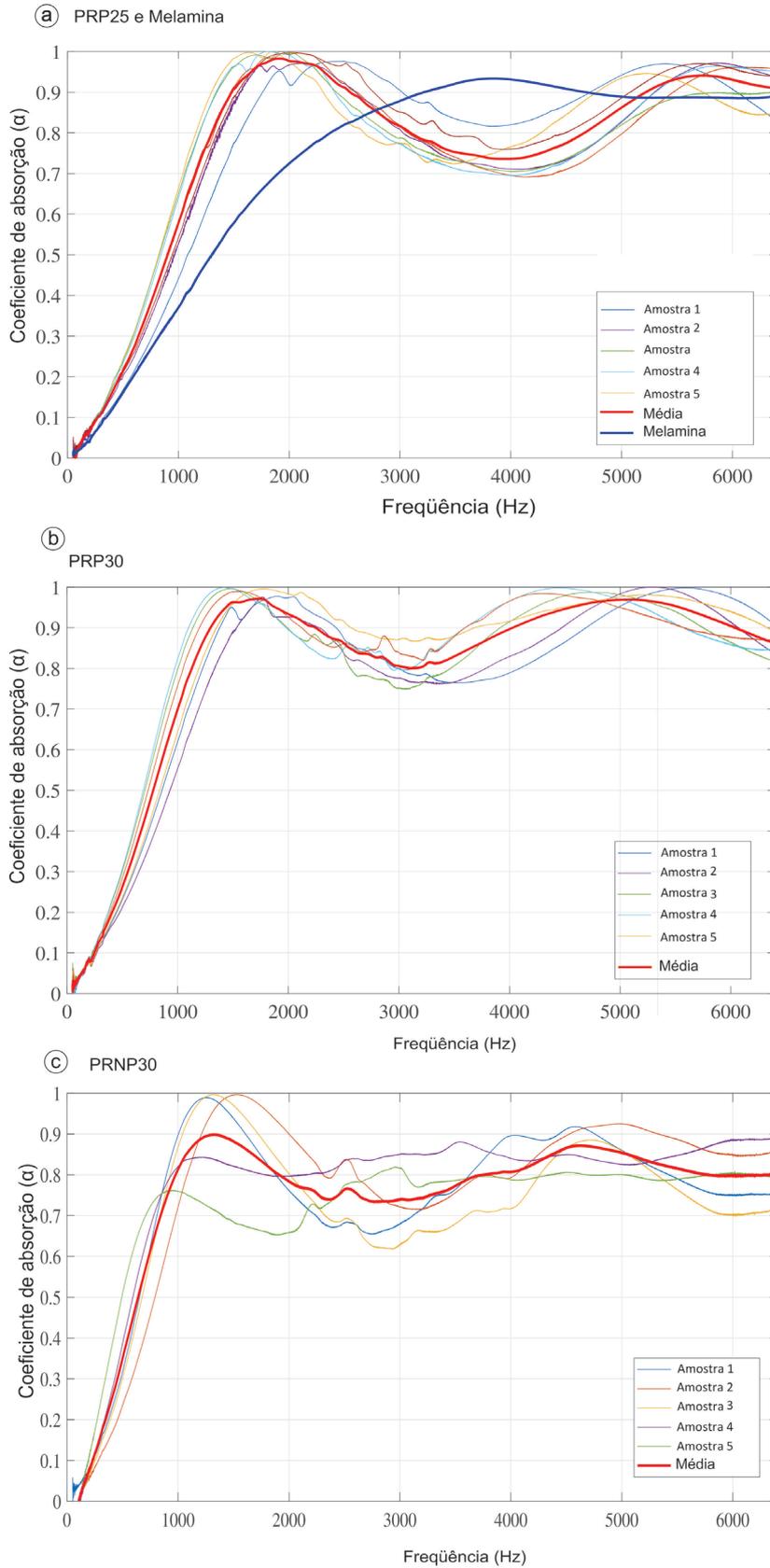
Os resultados de alguns pontos das frequências aferidas nos ensaios de absorção acústica, compreendidos na frequência de 50 Hz à 6.300 Hz, constam na Tabela 5, e estão ilustrados graficamente na Figura 56.

Podemos observar na Figura 56a (PRP25) que, apesar da variação na absorção, as amostras apresentam a mesma tendência, com destaque na frequência 2000 HZ em que o coeficiente de absorção chegou a 1α e na frequência 3000 HZ chegou a $0,90\alpha$. Comparados com a melamina de 25 mm, apresentaram uma variação maior, na maioria das frequências, com exceção das Frequências entre 3000 e 4000 Hz, em que a melamina foi superior.

No caso das amostras PRP30, Figura 56b, apesar da variação de absorção, possui coeficiente de absorção sonora acima de 90% na maioria das faixas de frequências sendo compatível, e até superior em algumas frequências, ao desempenho de alguns materiais comercialmente disponíveis, utilizados para a finalidade de controle de ruído como espumas melamínicas, que foi utilizada para efeitos comparativos com os painéis PRP e PRNP.

Podemos observar na Figura 57c que as amostras do PRNP30 mantiveram uma variação de absorção mais linear, com exceção da faixa entre 1000 e 2000 HZ.

Figura 57: Gráficos de absorção acústica. a) Gráfico de absorção acústica das amostras dos painéis PRP25 e a melamina; b) Gráfico de absorção acústica das amostras painéis PRP30; c) Gráfico de absorção acústica das amostras painéis PRNP30.



Fonte: Autora, (2023).

A Tabela 5 exibe a variação de absorção entre as amostras e a comparação entre as frequências. Observa-se que, na frequência de 1000 HZ, os índices de absorção, que variaram entre 0,44 e 0,72, são mais elevados que a amostra de melamina na mesma frequência. Na frequência de 2000 HZ, o PRNP30, apenas uma amostra obteve índice de absorção menor que a amostra de melamina. Nas frequências entre 3000 HZ a 6000 HZ os índices de absorção dos painéis variaram, mas em todos os pontos aferidos obtiveram valores mais altos que a melamina.

Tabela 5: Resultado dos ensaios de absorção acústica

Frequência	Material			
	PRP25	PRP30	PRNP30	Melamina 25
1000	0,44 - 0,71	0,55 - 0,82	0,72 - 0,90	0,37
2000	0,92 - 1,00	0,90 - 0,98	0,66 - 0,98	0,73
3000	0,77 - 0,90	0,75 - 0,87	0,63 - 0,90	0,88
4000	0,70 - 0,82	0,79 - 0,97	0,72 - 0,90	0,93
5000	0,80 - 0,94	0,95 - 0,98	0,80 - 0,92	0,90
6000	0,86 - 0,97	0,86 - 0,97	0,70 - 0,90	0,89

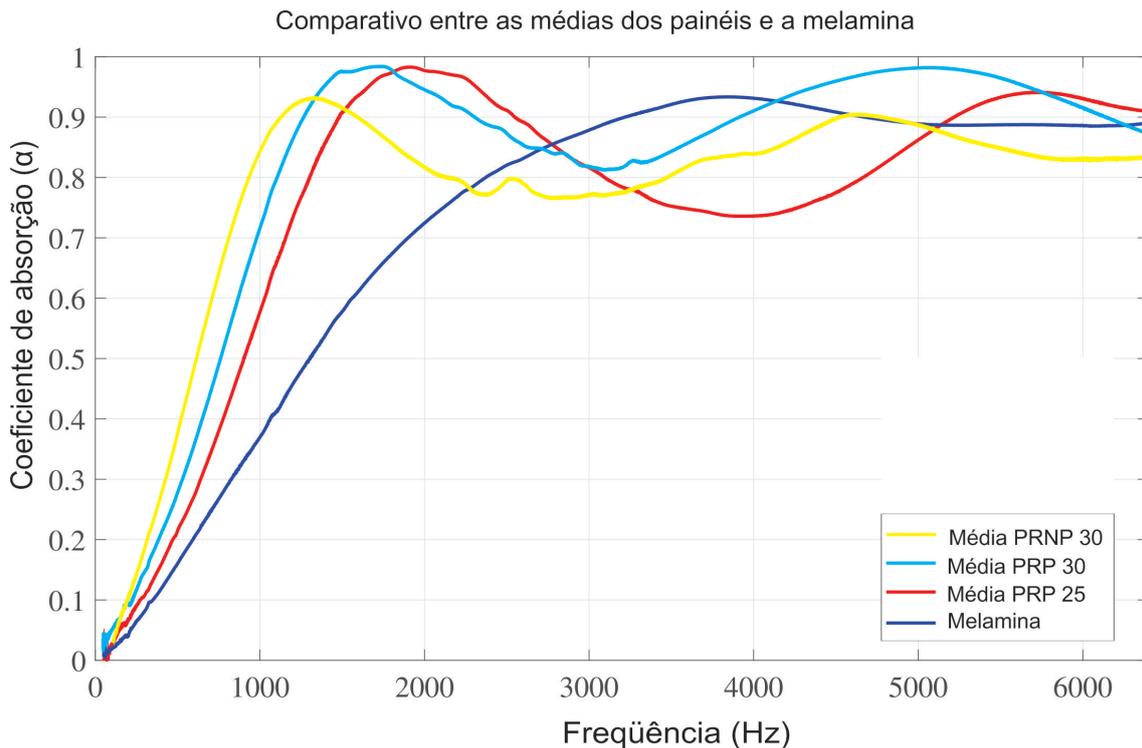
Fonte: Autora, (2023).

As médias de cada espessura foram utilizadas para gerar um gráfico comparativo e facilitar a visualização dos resultados (Figura 58).

De acordo com os resultados, foi observado que a média dos PRP25, quando comparados com a melamina, apresenta uma variação superior na maioria das frequências. A média da amostra PRNP30 alcançou o melhor desempenho em relação à absorção quando comparada às outras duas amostras. Com exceção nas frequências de 2000 Hz e 3000 Hz, em que a amostra de butiá de PRP25 foi superior a de PRNP30.

Quando analisadas a média das amostras PRNP30, é possível observar que o desempenho fica levemente abaixo das amostras PRP30, mas se compara a PRP25, apresenta como vantagem, um processo a menos durante produção dos painéis, tornando-o mais rápido.

Figura 58: Gráficos de absorção acústica dos painéis PRP, PRNP e da melamina.



Fonte: Autora, (2023).

Análises de absorção acústicas utilizando tubo de impedância, com painéis produzidos com pseudocaule da bananeira, deram resultados positivos em relação a absorção sonora. Na pesquisa, Silva (2017), concluiu que a espessura da placa foi um dos fatores mais significativos quanto ao desempenho como material para absorção acústica, e apresentou resultados satisfatórios em placas com espessura de 5 cm.

Com auxílio do tubo de impedância, Sakamoto *et al.* (2011) investigaram as características de absorção sonora da palha do arroz, a casca de arroz e casca de trigo sarraceno e concluíram a eficácia desses materiais como absorvedores de som; relataram o bom desempenho da palha de arroz comparando-se à absorção de som e lã de vidro disponível no mercado.

Para confirmar o bom resultado dos painéis produzidos com fibras vegetais, quanto ao índice de absorção acústica, estes foram comparados aos resultados obtidos por Bastos (2009) com materiais utilizados como absorventes acústicos produzidos industrialmente (BISTAFA, 2011), como pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6: Coeficiente de absorção sonora de materiais porosos/fibroso.

Material	Frequência					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Espumex 40mm (1)	0,52	0,48		0,65		--
Sonex 35mm (1)	0,44	0,6		0,73		--
Açaí artesanal (2)	0,8	0,8		0,88		0,88
Dendê artesanal (2)	0,3	0,7		0,8		0,7
Sisal artesanal (2)	0,4	0,8		0,92		0,88
Coco in natura (2)	0,4	0,68		0,7		0,7
Mesc.coco e sisal (2)	0,43	0,93		0,92		0,9
PRP25 (3)	0,44 - 0,71	0,92 - 1,00	0,77 - 0,90	0,70 - 0,82	0,80 - 0,94	0,86 - 0,97
PRP30 (3)	0,55 - 0,82	0,90 - 0,98	0,75 - 0,87	0,79 - 0,97	0,95 - 0,98	0,86 - 0,97
PRNP30 (3)	0,72 - 0,90	0,66 - 0,98	0,63 - 0,90	0,72 - 0,90	0,80 - 0,92	0,70 - 0,90
Melamina 25 (3)	0,37	0,73	0,88	0,93	0,9	0,89

Fonte: (1) Bistafa, (2011); (2) Bastos, (2009); (3) Autora, (2023).

É possível observar que os resultados dos painéis produzidos com resíduos de frutos de butiá, podem ser comparados com produtos produzidos industrialmente e apresentam resultados superiores a esses.

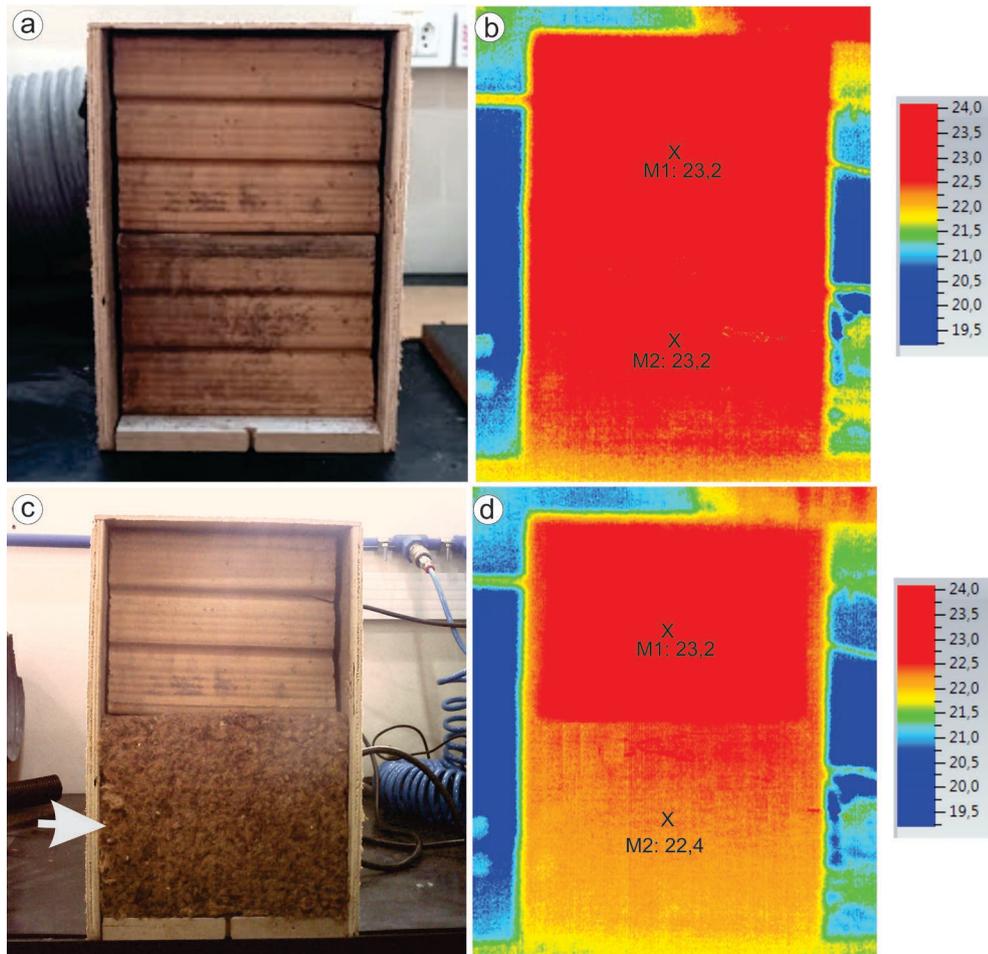
4.3.4 Termografia de infravermelho

No ensaio de termografia, o objetivo foi verificar se com a utilização do painel sobre o bloco cerâmico, resultaria em diferenças na transmissão de calor por condução. As imagens termográficas foram analisadas qualitativamente no *software* teste IRSoft. A primeira imagem examinada foi a dos blocos antes do ensaio, em seguida foi iniciado o processo de transmissão de calor com a utilização do soprador térmico, de potência 2000W. Determinou-se um ponto central de leitura em cada bloco para a tomada de medidas, em todas as tomadas de temperatura (M1 e M2).

Inicialmente foram aferidos a temperatura dos blocos e o índice de emissividade (0,90). A Figura 59 exibe a imagem real dos blocos e sua respectiva imagem termográfica, obtidas em temperatura ambiente antes do aquecimento artificial (23,3 °C). Logo após um deles foi coberto pelo painel (PRP de 25 mm),

e novamente foram tomadas as temperaturas permitindo observar que ocorreu uma diferença de 0,8 °C entre os materiais: M1 - bloco sem cobertura (23,2 °C) e M2 - bloco com painel (22,4 °C).

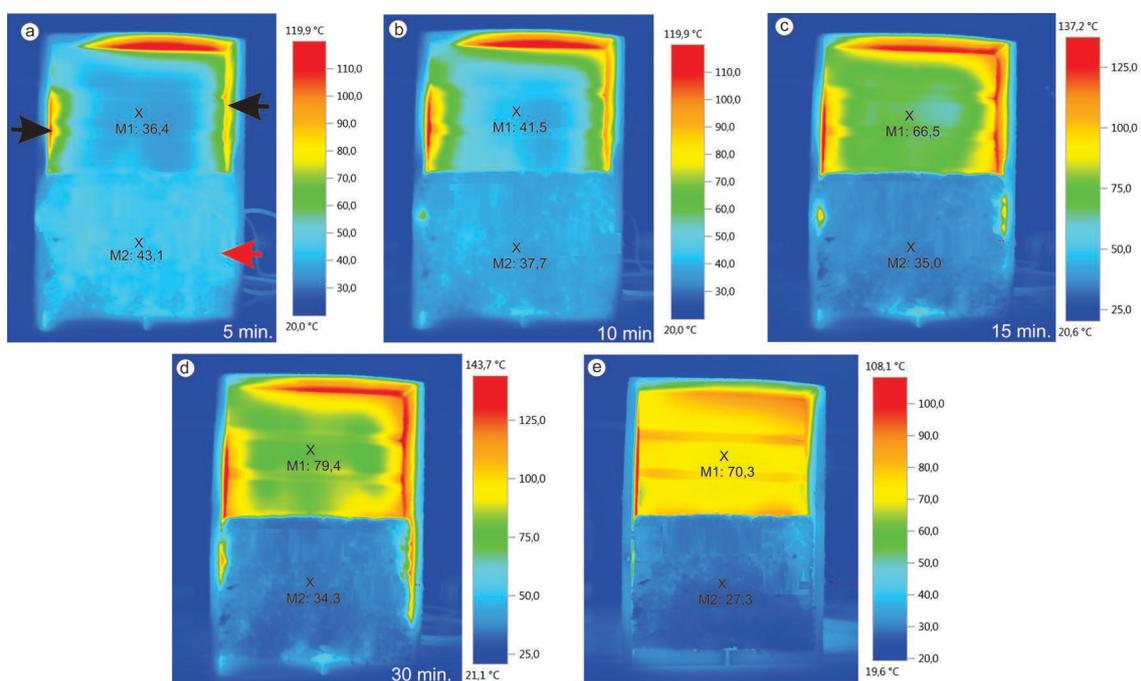
Figura 59: Blocos cerâmicos antes do início do ensaio e suas respectivas imagens termográficas. a) Imagem real dos blocos; b) Imagem termográfica dos blocos sem cobertura em temperatura ambiente indicando os pontos de medição; c) Imagem real dos blocos com cobertura (indicado pela seta branca) e sem cobertura; d) Imagem termográfica dos blocos com e sem cobertura indicando os pontos de medição.



Fonte: Autora, (2023).

A Figura 60 mostra o início do ensaio e percebe-se a fuga de calor (Figura 60a, seta preta) durante a progressão de aquecimento do material devido as irregularidades nas laterais dos blocos cerâmicos. É possível observar que, como o painel se ajustou a caixa (Figura 60a seta vermelha), não permitiu a fuga de calor na parte inferior. Para facilitar a descrição do ensaio, foi denominado Bloco sem cobertura como B1, e bloco com cobertura como B2.

Figura 60: Imagens termográficas dos blocos em cada tempo pré-determinado. a) Imagem termográfica após 5 minutos; b) Imagem termográfica após 10 minutos; c) Imagem termográfica após 15 minutos; d) Imagem termográfica após 30 minutos; e) Imagem termográfica após 45 minutos.

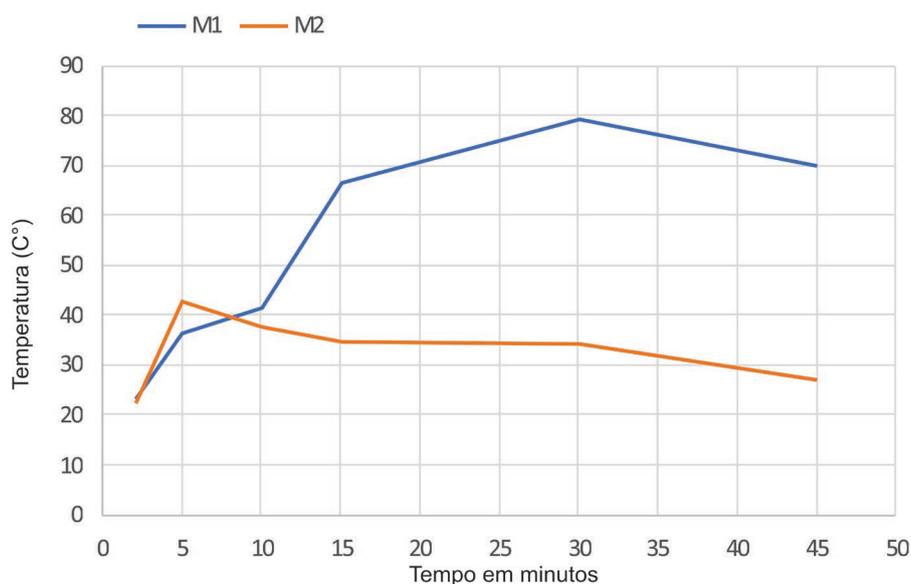


Fonte: Autora, (2023).

Foi possível constatar que nos primeiros 5 minutos o B2 (M2: 43,1) apresentou uma elevação na temperatura de 6,7°C a mais que o B1 (M1: 36,4). Esse fato foi atribuído a fuga de calor nas laterais dos blocos, que foi contida pelo painel e manteve o ar quente circulando dentro do mesmo. Entretanto, é possível observar que os dois blocos apresentaram diferença na transmissão de calor por condução. A partir dos 10 minutos, observa-se que a temperatura diminui no B2, enquanto o B1 aumenta praticamente invertendo os valores de M1 e M2.

No gráfico (Figura 61) verifica-se que, passados 15 minutos, a temperatura do B2 diminui significativamente chegando a uma diferença de 31,5 °C comparado com o bloco B1, e aos 30 minutos essa diferença chega a 45,1 °C, indicando uma maior resistência térmica do B2. Percebe-se que aos 45 minutos a temperatura em ambos os blocos diminui, mas o B2 se destaca por apresentar uma temperatura próxima a do início do processo, indicando que o material proporcionou estabilidade durante a emissão de calor, e apesar do ar quente circular dentro do painel, o mesmo conseguiu contê-lo e diminuir a temperatura indicando a boa resistência térmica.

Figura 61: Gráfico da variação de temperatura com o tempo.



Fonte: Autora, (2023).

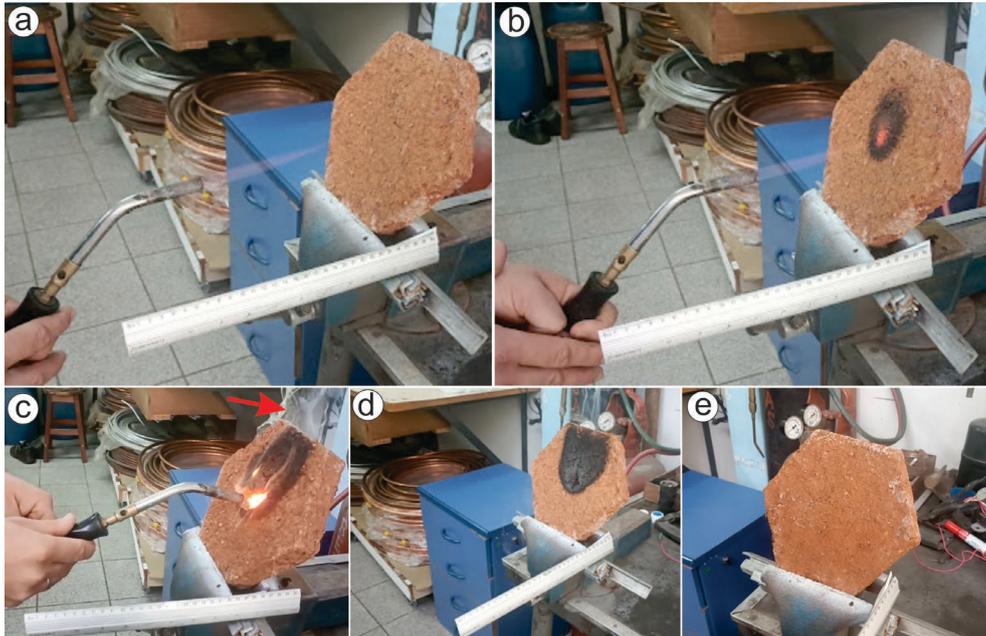
O isolamento térmico é uma estratégia utilizada para diminuir o fluxo de calor que atravessa um determinado elemento, por exemplo, paredes e coberturas. A análise dos resultados obtidos indica que o material possui potencial para isolamento térmico, pois conseguiu promover a redução na temperatura na parte externa coberta pelo bloco.

4.3.5 Flamabilidade

O ensaio foi iniciado utilizando um painel PCA (Painel Com Antichamas). Após a regulagem da chama, o cronometro foi acionado e o maçarico permaneceu por 30 segundos a uma distância de 250mm (Figura 62a), não foi observada nenhuma alteração na superfície do painel. O início de queima se deu quando a chama atingiu o painel, e isso ocorreu quando o maçarico alcançou uma distância de 150mm do painel (Figura 62 b).

Na Figura 62c, o maçarico estava a uma distância de 20mm do painel, foi possível observar a geração de fumaça (seta vermelha), no entanto, essa emissão cessou logo após o desligamento da chama (Figura 62 d). A Figura 62e mostra a parte posterior do painel, podemos constatar que, apesar da proximidade e intensidade, o fogo não perfurou o painel e permaneceu superficial.

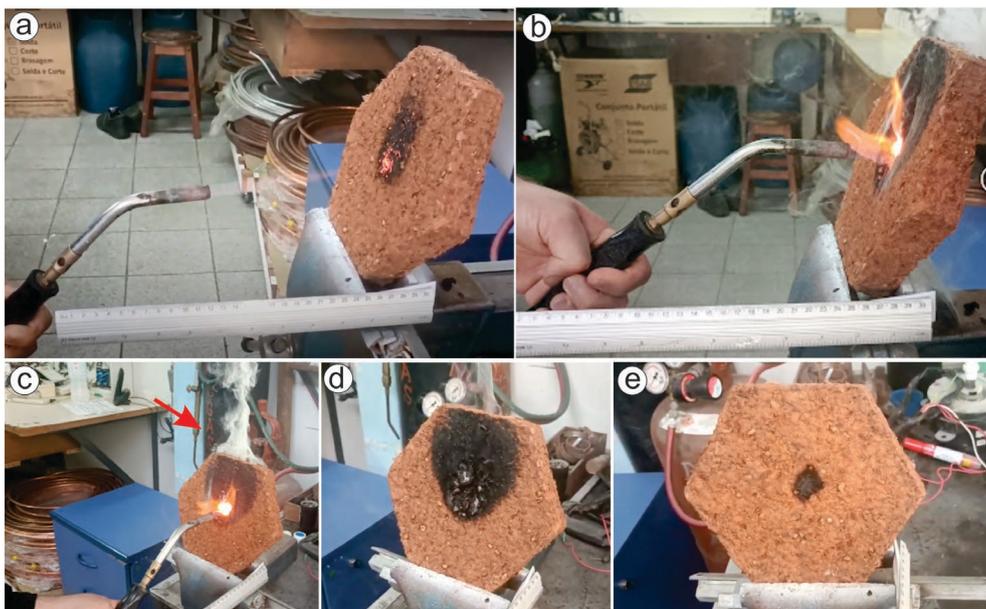
Figura 62: Ensaio de queima do Painei PCA. a) Início do processo de queima; b) Início de queima do painei com o maçarico a 150mm; c) Maçarico a 20mm do painei e a seta vermelha indicando a fumaça gerada; d) Painei após a chama ser desligada; e) Parte posterior do painei.



Fonte: Autora, (2023).

Com o painei PSA (Painei Sem Antichamas), o início do processo da queima teve início quando o maçarico atingiu a distância de 150 mm (Figura 63a).

Figura 63: Ensaio de queima do Painei PSA. a) Início do processo de queima; b) Início de queima do painei com o maçarico a 150mm; c) Maçarico a 20mm do painei e a seta vermelha indicando a fumaça gerada; d) Painei após a chama ser desligada; e) Parte posterior do painei mostrando que o fogo perfurou o painei.



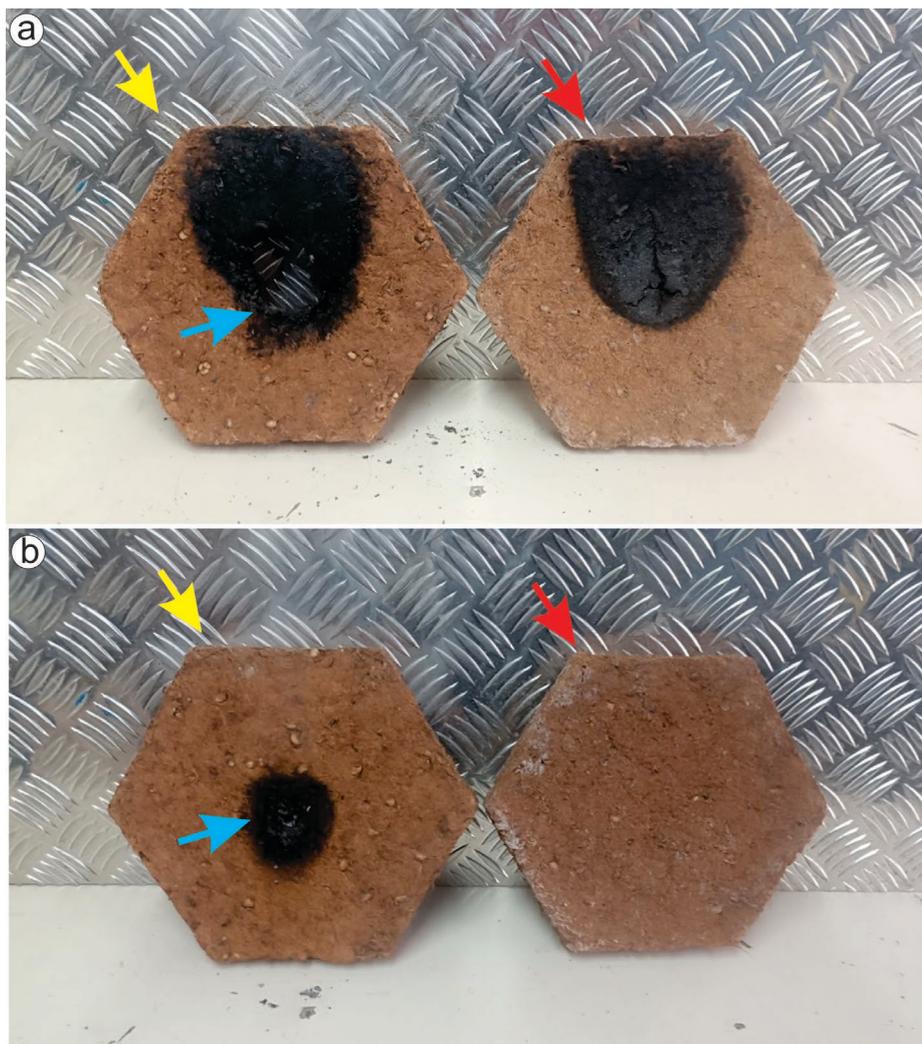
Fonte: Autora, (2023).

Na Figura 63c, seta vermelha é possível observar que a geração de fumaça ocorreu em maior proporção quando comparado com o painel PCA.

Ao término do ensaio a parte posterior do painel foi verificada, constatou-se que a proximidade e intensidade perfuraram o painel. Também foi observada a formação de uma brasa, que continuou queimando o material mesmo após o desligamento da chama.

A Figura 64 mostra o resultado logo após o término do ensaio (frente e verso dos painéis). A seta azul indica que o fogo queimou o PSA (seta amarela) com facilidade visto que atravessou o painel (Figura 64b, seta azul). Já o PCA queimou apenas superficialmente (Figura 64^a, seta vermelha).

Figura 64: Resultado do experimento de flamabilidade nos painéis após 1min50s. a) Parte frontal dos painéis indicando o resultado da queima (PSA, seta amarela, PCA, seta vermelha), seta azul indicando o furo resultante da queima; b) Vista posterior dos painéis (PSA, seta amarela, PCA, seta vermelha), seta azul indicando o furo resultante da queima.



Fonte: Autora, (2023).

Visto que o painel PSA produziu brasa, após 60 minutos, foi realizada uma nova averiguação nos painéis (Figura 65), foi possível constatar que o mesmo continuava queimando.

Figura 65: Resultado do experimento de flamabilidade nos painéis após 60min (PSA - seta amarela, PCA - seta vermelha).



Fonte: Autora, (2023).

O painel PSA queimou totalmente, enquanto o PCA cessou o fogo assim que a chama foi desligada, assim, podemos concluir que é imprescindível a aplicação de antichamas nos painéis. O fato de não conter nenhum tipo de aglomerante (apenas água) e o painel ser constituído de fibras secas é um fator que se leva em consideração para que o PSA queime totalmente.

Bastos (2009) analisou a flamabilidade de painéis artesanais produzidos com fibras vegetais (açai, sisal tipo fibras pequenas, sisal tipo fibras grandes e fibras de coco) utilizando a norma FMVSS 302 - *Flammability of Interior Materials*, para quantificar a velocidade horizontal com que o material se degrada através da ação do fogo. Apesar da metodologia explorada ser diferente, as amostras apresentaram boa resistência a chamas. Segundo o autor, uma das características que contribuiu para esse desempenho foi o fato de os painéis estarem bem compactados, havendo, aparentemente, poucos espaços vazios em suas estruturas, o que dificulta a propagação de chamas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

Com auxílio da microscopia eletrônica foi possível visualizar as fibras entrelaçadas com resquícios de polpa seca, e os canais de comunicação que corroboram para que o material seja hidrofílico.

No TGA, o destaque foi que até 250 °C, as fibras dos resíduos dos frutos de butiá podem ser consideradas termicamente estáveis.

Nos espectros de infravermelho foi possível observar os movimentos para as bandas típicas de absorção presentes nas fibras lignocelulósicas relacionadas com a celulose, hemicelulose e lignina, cujos valores foram estimados com a composição química, que apontou a presença de 25,22% de celulose, 31,49% de hemicelulose, e 7,17% de lignina.

Em relação a produção dos painéis, esses serviram para estabelecer parâmetros relevantes, que foram utilizados como referência para padronização na fabricação de novos painéis, como a espessura, quantidade de material e tempo de secagem. Apesar dos diferentes processos de produção, o material apresentou boa agregação das fibras e seu principal atributo é não necessitar de resinas como aglutinante, apenas água.

Na confecção dos painéis foi possível estimar a quantidade de resíduos necessários utilizados em cada molde e que após a secagem ocorre um processo de redução na sua dimensão, tanto na espessura quanto na largura devido a evaporação da água.

Constatou-se que a confecção dos PRNP, facilitam e aceleram o processo de confecção, pois não necessitam passar pelo liquidificador. Outro aspecto é que os moldes com formato hexagonal e dimensões reduzidas são mais fáceis de manusear durante a produção dos painéis, também resultaram em painéis com melhor acabamento, com as faces alinhadas e retilíneas.

Quanto à textura os PRP apresentaram aspecto mais homogêneo, já os PRNP, um aspecto rústico atribuído ao processo de despolpa. No que se refere às cores, foram identificados tons de marrom variados, sendo esse fato atribuído ao horário e ao processo de secagem.

Na preparação dos corpos de prova, os painéis foram usinados com processos utilizados na indústria moveleira, observou-se que os painéis permitiram ser usinados sem dificuldade e apresentaram boa integridade antes e após os cortes.

Quanto a densidade, a média dos valores obtidos foi de $0,173\text{g/cm}^3$ indicando que os painéis de resíduos dos frutos de butiá são de densidade baixa.

Com relação a absorção de água, os corpos de prova apresentaram altos índices de absorção, o que indica que os painéis são hidrofílicos, e o processo de absorção de água ocorre rapidamente.

Quanto ao inchamento em espessura, os painéis apresentaram uma média de 12,41% e a norma NBR 15316-2, na qual o ensaio foi baseado, especifica o valor de 10 % para espessuras >19 a 30 mm. Cabe destacar que os painéis não utilizam resina na sua produção.

Acerca dos resultados acústicos foi possível constatar que os painéis podem ser comparados com produtos produzidos industrialmente, apresentando resultados superiores a esses com destaque para os painéis PRP, com espessura de 30 mm, pois são de fácil produção e apresentam bons resultados.

Os resultados relacionados a termografia de infravermelho constataram que o material tem potencial para ser utilizado como isolante térmico, pois conseguiu promover a redução na temperatura na parte externa coberta pelo painel.

Na análise experimental de flamabilidade foi constatado que é imprescindível a aplicação de antichamas nos painéis.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A produção dos painéis com resíduos dos frutos de butiá foi experimental, os ensaios e análises foram realizadas a partir de diferentes parâmetros e especificações, até encontrar os indicadores adequados para a produção em escala artesanal. Podem ser reproduzidos por comunidades locais, de acordo com os preceitos de Design e Território, fortalecendo a identidade dos produtos locais, que corroboram para proteger a sociobiodiversidade que os originam, influenciando positivamente a economia circular, além de beneficiar o meio ambiente.

A partir das informações e parâmetros aqui descritos, muitos outros produtos podem ser desenvolvidos e reproduzidos nas cooperativas e comunidades. Estes propósitos vão de encontro aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que buscam promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, também procura promover a agricultura sustentável.

Para trabalhos futuros seria interessante análise acústica em câmara reverberante, pois infelizmente não foi possível produzir os 12m² que são necessários para o ensaio. Análise de envelhecimento, e suscetibilidade a fungos também são importantes, pois trata-se de painéis com resíduos secos e hidrofílicos.

Índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante: ensaio realizado de acordo com a NBR9442 de 08/2019, também é de suma importância, pois foi identificado, no ensaio experimental, a necessidade da utilização de um antichamas nos painéis.

Verificar a produção anual de butiá e, conseqüentemente, dos resíduos, também é um fator importante, por tratar-se de um produto sazonal, seus derivados são utilizados para complementação de renda; não foi possível obter esses dados.

Trabalhar com materiais sazonais como os butiás, foi um processo difícil, visto que, quando se acertava um parâmetro, era necessário aguardar a próxima floração e maturação dos frutos, para a confecção de novas amostras e reiniciar o processo de análise.

É importante ressaltar a complexidade da pesquisa no Brasil, quando necessitamos de parcerias com outras universidades, laboratórios e serviços de terceiros. Nas universidades, equipamentos com problemas e falta de pessoal disponível para auxiliar, estão entre as dificuldades que ocorreram durante a pesquisa. Os altos custos de análises que são realizadas apenas por laboratórios especializados, como no caso do ensaio de inflamabilidade, também foram um contratempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16969: ensaios não destrutivos: termografia infravermelha: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 10.004/2004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABRAMOVAY, Ricardo. **Muito além da economia verde**. São Paulo: Editora Abril, 2012.

ADNEWS. **Cervejeiro dos pés à cabeça: empresa lança tênis com solado de malte**. (2018). Disponível em: <https://adnews.com.br/empresas-curitibanas-lancam-tenis-com-solado-de-malte/>. Acesso em: 23/04/2020.

ALMEIDA JR, AQUINO RCMP, MONTEIRO SN. **Tensile mechanical properties, morphological aspects and chemical characterization of piassava (*Attalea funifera*) fibers**. Composites A 2006; 37:1473–9.

AMARAL, Francisco Armond do. **Bloco de adobe: efeitos da adição de fibra do epicarpo do babaçu**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/tede/1916>. Acesso em: 23/04/2020.

AMICO SC, COSTA THS, CARRERA LC, SANTANA W, GALVÃO D. **Characterization of sisal fibers of north east region of Brazil**. In: 16th Brazilian mechanical engineering congress (cobem), Uberlandia, vol. 2, 2001. p. 33–41 [in Portuguese].

AOTTA. **EOacoustic / Fiber acoustic material / conifer needle**. Disponível em: <https://www.aotta.com/projects/eoacoustic>. Acesso em: 23/04/2020.

ASHBY, Michael. F.; JOHNSON, Kara. **Materiais e design: arte e ciência na seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning engineers. Atlanta, GA, EUA. 2017.

BASTOS, Leopoldo Pachecol. **Desenvolvimento e caracterização acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém. 2009.

BASNER, M., BABISCH, W., DAVIS, A., BRINK, M., CLARK, C., JANSSEN, S., & STANSFELD, S. **Auditory and non-auditory effects of noise on health**. The lancet, v. 383, n. 9925, p. 1325-1332, 2014.

BARAUNA, D., SOUZA, S., TREIN, F. A., & RAZERA, D. L. **Design para a sustentabilidade na economia de materiais: uso de resíduos no desenvolvimento de produtos**. *Mix Sustentável*, v. 3, n. 3, p. 113-122, 2017.

BARBIERI, Rosa Lía (ed). **Vida no butiazal**. Embrapa, 2015.

BARBIERI, R.L., SOSINSKI, Ê.E., MARCHI, M.M., DA COSTA, F.A., HEIDEN, G., VIZZOTTO, M., COELHO-DE-SOUZA, G., ROMBALDI, C.V., CHAVES, F., SALLÉS, J.M. *et al.* **Rota dos Butiazais: Conectando pessoas para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas.2017.

BARBOSA, A. P. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de Buriti**. Tese de D. Sc. UENF. RJ, 2011.

BEEAR ART. **Cervejaria Colorado lança óculos de bagaço de malte**. 2017. Disponível em: <https://revistabeerart.com/news/cerveja-colorado-sustentavel>. Acesso em: 23/04/2020.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, Jochen. **Composites reinforced with cellulose based fibres**. *Progress in polymer science*, v. 24, n. 2, p. 221-274, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5).

BONIOLO, Milena Rodrigues; YAMAURA, Mitiko; MONTEIRO, Raquel Almeida. **Biomassa residual para remoção de íons urânio**. *Química Nova*, v. 33, n. 3, p. 547-551, 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos**.

lítica Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 2010.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William. **Cradle to cradle. Criar e Reciclar ilimitadamente**. Barcelona, Gustavo Gili, 2014.

BISTAFA, Sylvio Reynaldo. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2011. 380 p:il.

CACCERE, João; DOS SANTOS, Aguinaldo. **Agenda de Inovação para o Design de soluções orientadas à Economia Distribuída via Fabricação Digital**. *Estudos em Design*, v. 25, n. 2, 2017.

CALEGARI, ELIANA PAULA. **Compósitos poliméricos com casca de arroz: desenvolvimento, caracterização e possibilidades de aplicação no design de produto**. Doutorado (Tese). Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2018.

CALEGARI, Eliana Paula; DE OLIVEIRA, Branca Freitas. **Um estudo focado na relação entre design e materiais**. *Projetica*, v. 4, n. 1, p. 49-64, 2013.

CAMPANALI, Maura. **Projeto brasileiro é premiado em Joanesburgo**. Rio+10s Brasil. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/RelatorioGestao/Rio10/riomaisdez/index.php.776.html>. Acesso em: 04/03/2020.

CARUSO, Ricardo. **ECOLOGY: O UNO “VERDE”**. Auto&Técnica. Disponível em: <http://autoetecnica.band.uol.com.br/ecology-o-uno-verde/>. Acesso em: 04/03/2020.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. - Brasília: Thesaurus, 2006.

CASTILHOS, Lisane Fernanda Fabro de. **Aproveitamento da fibra de coco**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (BRT) -Dossiê técnico. Instituto de Tecnologia do Paraná–TECPAR. Curitiba, 2011.

CASTRO, B. F. M. **Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais**. Instituto Superior em Engenharia do Porto, 2013.

CHUN, K. S.; HUSSEINSYAH, S. **Agrowaste-based composites from cocoa pod husk and polypropylene: effect of filler content and chemical treatment**. Journal of Thermoplastic Composite Materials, v. 29, n. 10, p. 1332-1351, 2016.

COSTA FILHO, D. V., SILVA, A., SILVA, P., & SOUSA, F. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos**. In: II Congresso Internacional das Ciências Agrárias–COINTER–PDVAgro. 2017.

COSTA, C.; CALLADO, C.; CORADIN, V.; CARMELLO-GUERREIRO, S. XILEMA. In: APPEZATTO, D. A.; GLÓRIA, B.; GUERREIRO, S. M. C. (Eds.). **Anatomia vegetal**. Viçosa: UFV, 2006.

DASSANAYAKE, R. S., DISSANAYAKE, N., FIERRO, J. S., ABIDI, N., QUITTEVIS, E. L., BOGGAVARAPPU, K., & THALANGAMAARACHCHIGE, V. D. **Characterization of cellulose nanocrystals by current spectroscopic techniques**. Applied Spectroscopy Reviews, v. 58, n. 3, p. 180-205, 2023.

DE SOUZA, L. C. L., DE ALMEIDA, M. G., BRAGANÇA, L., & DO NASCIMENTO, L. R. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. EdUFSCar, 2012.

DIAS, Valéria. **Bagaço de cana é matéria prima para fabricar embalagens**. Agência USP de Notícias, 2014. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/?p=194081>. Acesso em: 17/07/2020.

DISTRITO CRIATIVO. **O Butiá no Distrito C**. Disponível em: <https://distritocriativo.wordpress.com/butia/>. Acesso em: 17/03/2020

ENKEV NATURAL FIBRES. **COCOFORM natural packaging**. Disponível em: https://www.enkev.com/en/market/packaging_22/. Acesso em 05/03/2020.

ESLABÃO, M., PEREIRA, P. E. E., BARBIERI, R., & HEIDEN, G. **Distribuição geográfica de butia (Arecaceae) nos biomas mata atlântica e pampa no Rio Grande do Sul**. In: Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 24; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO [Anais]. Pelotas: UFPel, 2015.

ESLABÃO, M., PEREIRA, P., BARBIERI, R., & HEIDEN, G. **Mapeamento da distribuição geográfica de butiá como subsídio para a conservação de recursos genéticos**. Embrapa Clima Temperado-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2016.

FAO. 2011. **Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention**. Rome.

FEE - Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. **O que é o agronegócio?** 28/08/2015. Disponível em: <https://arquivofee.rs.gov.br>. Acesso em: 28/02/2022.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul — 2019**. Porto Alegre: SEPLAG, DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2019.

GATANI, M. P., FIORELLI, J., MEDINA, J. C., ARGUELLO, R., RUIZ, A., NASCIMENTO, M. F. D., & SAVASTANO Jr, H. **Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 18, n. 2, p. 1286-1293, 2013.

GEGER, Léa; TENNENBAUM, Carla. **Os Três Princípios do Design Circular: Cradle to Cradle. Ideia Circular**, 2017. Disponível em: <https://www.ideiacircular.com/o-que-e/>. Acesso em: 09/11/2019.

GEYMONAT, G.; ROCHA, N. **M'botia, ecossistema único en el mundo**. Castillos: Casa Ambiental. 405p. 2009.

HENDERSON, A.; GALEANO, G. & BERNAL, R. 1995. **Field guide to the palms of the Americas**. Pinceton University Press, New Jersey. 363p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10534-2. Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 2: Transfer-function method**.

JENDIROBA, E. **Aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. In: **Gestão de Resíduos da Agricultura e da Agroindústria**. Eds.: Claudio Spadotto, Wagner Ribeiro. FEPAF - Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais Ltda, Botucatu, 319 p., 2006.

JAYASEKARA, Chitrangani; AMARASINGHE, Nalinie. **Coir–Coconut Cultivation, Extraction and Processing of Coir**. Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications, p. 197-217, 2010.

JOBIM, Silvie Janis Mossate. **Caracterização da bainha fibrosa da palmeira *Livistona chinensis* para aplicação no design de produto.** Dissertação (Mestrado) em Design e Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil. 2018.

JOBIM, S. J. M., DILLY, J., & DUARTE, L. C. **Determination of Thermal and Acoustic Properties of the Fibrous Sheath From the Palm Tree *Livistona Chinensis*. As Potential Insulating Material For Panel Application.** International Journal of Advances in Engineering & Technology, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2018.

JOBIM, S. J. M.; DUARTE, L. C. **Resíduos de butiá no desenvolvimento de produtos: valorização territorial, identidade local e economia circular.** In: X Workshop Design & Materiais | IV Congresso Internacional, 2021, Natal - RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2021.

JOBIM, S. J.; DUARTE, L. C.. **Alternativas para utilização dos resíduos do fruto do butiá de forma sustentável.** In: Ensus2021 - IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2021, Florianópolis. Sustentabilidade Geral e Resíduos. Florianópolis:UFSC/VIRTUHAB, 2021. v. 9. p. 96-106.

JOHNSON, Dennis V. **Non-wood forest products: Tropical palms.** Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 2011.

KRUCKEN, Lia. **Design e Território–Valorização de identidades e produtos locais.** Studio Nobel, 2009.

LAVALL, R. L., SALES, J. A. D., BORGES, R. S., CALADO, H. D., MACHADO, J. C., WINDMÖLLER, D.& LADEIRA, L. O. **Nanocompósitos de poliuretana termoplástica e nanotubos de carbono de paredes múltiplas para dissipação eletrostática.** Química nova, v. 33, p. 133-140, 2010.

LEÃO, A.L.; SARTOR, S. M. **Aproveitamento de Resíduos Sólidos para Fins Industriais.** In: Cláudio Spadotto; Wagner C. Ribeiro. (Org.). Gestão de Resíduos na Agricultura e Agroindústria. Botucatu: FEPAF, 2006, v. p. 157-180.

LEGASPE. Luciano R. **Resíduo orgânico urbano e seu (re)aproveitamento como fonte de alimentação humana, animal, compostagem e energia térmica.** In: Gestão de Resíduos da Agricultura e da Agroindústria. Eds.: Claudio Spadotto, Wagner Ribeiro. FEPAF - Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais Ltda, Botucatu, 319 p., 2006.

LIMA, V. V. F., SILVA, P. A. D. D., SCARIOT, A. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do coquinho azedo.** 2010.

LORENZI, Harri J. **Flora brasileira: 'Arecaceae' (palmeiras).** Instituto Plantarum, 2010.

MACHADO, N. A. F., FURTADO, M. B., PARRA-SERRANO, L. J., PARENTE, M. D. O. M., FIORELLI, J., & JÚNIOR, H. S. **Painéis aglomerados fabricados com resíduos do coco babaçu**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 12, n. 2, p. 202-209, 2017.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. Trad. Astrid de Carvalho. São Paulo: Ed. USP, 2002.

MANZINI, EZIO. **Design para a inovação social e sustentabilidade: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

MARINHO, N.P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; DE ANDRADE, A.S.; DE MUÑIZ, G.I.B. **Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) em diferentes idades**. Ciência Florestal, v. 22, n. 2, p. 417-422, 2012.

MATOS, A. T. **Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Resíduos Sólidos**. Viçosa, Minas Gerais: Ed. UFV, 2014.

MATOS, J.R.; MACHADO, L.D.B. **Análise térmica – termogravimetria**. In: Sebastião Vicente Canevarolo. (Org.). Técnicas de Caracterização de polímeros. São Paulo: 1 ed. Artliber, pp. 209-228. 2003.

MEIO AMBIENTE. **Encosto de Fibra de Coco**. Associação Nacional dos Inventores, 2002. Disponível em: <http://www.invencoesbrasileiras.com.br/encosto-de-fibra-de-coco/>. Acesso em: 04/03/2020.

MELO, Rafael Rodolfo de. **Uso da casca de arroz na produção de painéis aglomerados**. Revista da Madeira - Edição N°120. 2009. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acesso em: 26/11/2019.

MENA, Isabela. **Verbetes Draft: O Que é Slow Design**. 2018. Disponível em: <https://www.projtodraft.com/verbete-draft-o-que-e-slow-design/>. Acesso em: 04/03/2020.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; SANTOS, R. C.; BUFALINO, L. **The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane generated in the distiller**. Revista de Ciências Agrárias, v.32, n.2, p.209-218, 2009.

MENDONÇA, L., AMARAL, M., CATARINO, P. **A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios**. Jornadas de Engenharia de 70 Manutenção. ISEL, 2013.

MERSONI, Cristina; REICHERT, Geraldo Antônio. **Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, p. 863-875, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017150351.

NEJELISKI, Danieli Maehler. **O porongo (*Lagenaria siceraria*) como matéria-prima para a produção de recipientes: caracterização e impermeabilização**. Dissertação (Mestrado) em Design e Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil. 2015.

OLIVEIRA A.K.F.; D'ALMEIDA J.R.M **Caracterização da fibra de tururi como elemento para fabricação de eco-compósitos**. 9º. P&D Design Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi,v. 1, 2010.

OLIVEIRA, Ana Karla Freire de; D'Almeida, José Roberto Moraes. **ECOPISO DE FIBRA DE TURURI E RESINA DE MAMONA: ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO E ANÁLISE DA MORFOLOGIA UTILIZANDO MEV**. Blucher Design Proceedings, v. 1, n. 4, p. 1968-1979, 2014.

ÓRFÃO, J. J. M.; FIGUEIREDO, J. L. **A simplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis kinetics from isothermal thermogravimetric experiments**. Thermochemica Acta, Amsterdam, v. 380, p. 67 – 78, 2001.

ORNAGHI JÚNIOR, Heitor Luiz et al. **Chemical composition, tensile properties and structural characterization of buriti fiber**. Cellulose Chemistry and Technology, v. 50, n. 1, p. 15-22, 2016.

OWA SONEX. **Entenda as Diferenças entre Isolamento Acústico e Absorção Sonora**. 2020. Disponível em: <https://blog.owa.com.br/entenda-as-diferencas-entre-isolamento-acustico-e-absorcao-sonora>. Acesso em: 22/04/2020.

PADILHA, H. K. M., MISTURA, C. C., VILLELA, J. C. B., RIVAS, M., HEIDEN, G., & BARBIERI, R. L. **Avaliação da produção de cachos de frutas em palmeiras de Butiá (*Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick & Lorenzi)**. Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2016.

PAVIA, Donald L. et al. **Introdução à espectroscopia**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

PRATES, E. R. **Técnicas de pesquisa em nutrição animal**. Porto Alegre: UFRGS, p. 414, 2007.

PASTORE, T. C. M.; OLIVEIRA, C. C. K. D.; RUBIM, J. C.; SANTOS, K. D. O. **Effect of artificial weathering on tropical woods monitored by infrared spectroscopy (DRIFT)**. Química Nova, v. 31, n. 8, p. 2071-2075, 2008.

PIRES, A. S. **Perda de diversidade de palmeiras em fragmentos de mata atlântica: padrões e processos**. 2006. xi, 108 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, 2006.

PRATES, E. R. **Técnicas de pesquisa em nutrição animal**. Porto Alegre: UFRGS, p. 414, 2007.

RAMESH, M.; PALANIKUMAR, K.; REDDY, K. Hemachandra. **Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites**. Composites Part B: Engineering, v. 48, p. 1-9, 2013.

RIBEIRO, D. P., VILELA, A. P., SILVA, D. W., NAPOLI, A., & MENDES, R. F. **Effect of heat treatment on the properties of sugarcane bagasse medium density particleboard (MDP) panels**. Waste and Biomass Valorization, p. 1-13, 2019.

RIVAS, Mercedes; BARBIERI, Rosa Lía. **Butia odorata** – Procisur. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Edición 2018. Basada en una obra en www.iica.int.

RIVAS, Mercedes; BARBIERI, Rosa Lía. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do butiá. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 59 p. 2014.**

RIVAS, M. **Conservação e uso sustentável de palmares de Butia odorata (Barb. Rodr.) Noblick**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, RS, Brasil. 2013.

SANT'ANNA-SANTOS, Bruno F. **A new endemic and critically endangered species of Butia (Arecaceae) with comments on morpho-anatomical novelties in the genus**. Plant Systematics and Evolution, v. 307, n. 1, p. 4, 2021.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, FERNANDO. **Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications**. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 38, n. 7, p. 1694-1709, 2007.

SPINACÉ, M.A.S.; JANEIRO, L.G.; BERNADINO, F.C.; GROSSI, T.A.; PAOLLI, M.A. **Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal x curauá**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 21, n 3, São Carlos, 2011.

ROSSATO, M. **Recursos genéticos de palmeiras do gênero Butia do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 136f. 2007.

SANCHES, M. C.; COELHO, N. N.; FUTIGAMI, J. D. M.; ROCHA, M. C. **Avaliação do processo de mercerização da torta de mamona**. BRASILTEC 2014. Rio de Janeiro. 2014.

SAKAMOTO, S., TAKAUCHI, Y., YANAGIMOTO, K., & WATANABE, S. **Study for sound absorbing materials of biomass tubule etc**. Journal of Environment and Engineering, v. 6, n. 2, p. 352-364, 2011.

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Madeira: matéria-prima para o design**. São Paulo: SENAI – SP Editora, 2014.

SILVA, Diógenes Magri. **Fibras Naturais como Isolamento Acústico**. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 12, n. 12, p. 41-44, 2017.

SILVA, P.R; ARRUDA, AJV; SILVA, P. R. **A Valorização da Identidade Territorial e Inovação Sustentável: estratégias de competitividade, aplicados em polos moveleiros pernambucanos emergentes. Mix sustentável**, v. 3, n. 1, p. 93-99, 2017.

SILVA, R., HARAGUCHI, S. K., MUNIZ, E. C., & RUBIRA, A. F. **Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos**. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.

SILVERSTEIN, Robert M. et al. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, xiv, p.490. 2007.

SOARES, K. P., LONGHI, S. J., WITECK NETO, L., & ASSIS, L. C. D. **Palmeiras (Arecaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil**. Rodriguésia, v. 65, n. 1, p. 113-139, 2014.

SONITE **Innovative Surfaces**. 2019. Disponível em: [tps://sonitesurfaces.com/galleries/husk](https://sonitesurfaces.com/galleries/husk). Acesso em: 22/04/2020.

SZIGETHY, Leonardo; ANTENOR, Samuel. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. 2020. IPEA - Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br>. Acesso em: 01/03/2022.

TANOBE, V. O., SYDENSTRICKER, T. H., MUNARO, M., & AMICO, S. C. **A comprehensive characterization of chemically treated Brazilian sponge-gourds (Luffa cylindrica)**. *Polymer Testing*, v. 24, n. 4, p. 474-482, 2005.

THIEL, Catarine. **Curiosidades sobre o Butiá**. Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42413422/curiosidades-sobre-o-butia>. Acesso em: 22/11/2019.

TEXO. **Paixão Cervejeira: Óculos de sol feitos com malte de cerveja**. 2019. Disponível em: <https://texo.com.br/blogs/news/paixao-ervejeira-oculos-de-sol-feitos-com-malte-de-erveja>. Acesso em: 22/04/2020.

TOMCZAK, F., **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil**. Tese de D.Sc., Curitiba: Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2010.

TOOGE. Rikardy. **Agronegócio cresce 3,8% e representa 21% do PIB brasileiro em 2019, diz CNA**. G1. Disponível em: <https://g1.globo.com>. Acesso em: 24/01/2019.

TUOTO, Marco. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado.** Ministério do Meio Ambiente, Curitiba, 2009.

ZAMBRANA, N. Y. P.; BYG, A.; SVENNING, J. C.; MORAES, M.,GRANDEZ,C.; BALSLEV, H. **Diversity of palm uses in the western Amazon.** Biodiversity and Conservation, v. 16, n. 10, p. 2771-2787, 2007.

ANEXOS

Anexo I - Laudo de análise da composição química.



Laboratório de Nutrição Animal

LAUDO DE ANÁLISES



Análise N.º: 21685P

Cliente: Profª Lauren Duarte/Silvie Jobim

Data de entrada: 17/07/2019

Data de saída: 02/08/2019

Material: Bagaço de Fibra de Butia

	Matéria Seca (%)	Matéria Natural (%)
Matéria Seca	100,00	85,84
Umidade		14,16
Matéria Orgânica	97,00	83,26
Proteína Bruta		
Fibra Bruta		
Extrato Etéreo		
Cinzas	3,00	2,58
Extrato Não Nitrogenado		
FDN	63,88	54,83
FDA	32,39	27,80
Lignina	7,17	6,15
Energia Bruta (kcal/kg)		
NDT		

O cliente é responsável pela identificação e amostragem do material.
O resultado das análises é referente apenas à amostra enviada.

Maitê de M. Vieira

Profª. Maitê de Moraes Vieira
Responsável Técnico



Av. Bento Gonçalves 7712 - Agronomia
CEP: 91540-000 - Porto Alegre-RS
e-mail: lna@ufrgs.br
Fone: 51 3308-6057
Fax: 51 33086048