



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS LIMA COSTA

**PAINEL RECONSTITUÍDO A PARTIR DO SISAL (*Agave sisalana*) PARA
ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES**

Salvador
2022

LUCAS LIMA COSTA

**PAINEL RECONSTITUÍDO A PARTIR DO SISAL (*Agave sisalana*) PARA
ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Fábio César

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Rita Dione Araújo Cunha

Agência Financiadora: FAPESB

Salvador

2022

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Costa, Lucas Lima

PAINEL RECONSTITUÍDO A PARTIR DO SISAL (Agave
sisalana) PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES /
Lucas Lima Costa. -- Salvador, 2022.

144 f.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Fábio César.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Rita Dione Araújo
Cunha.

Dissertação (Mestrado - Engenharia Civil) --
Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

1. Isolante térmico. 2. Flecha de sisal. 3. Região
sisaleira. 4. Material reconstituído. 5. Resina
poliuretana à base de mamona. I. César, Prof. Dr.
Sandro Fábio. II. Cunha, Prof^a. Dr^a. Rita Dione
Araújo . III. Título.

LUCAS LIMA COSTA

**PAINEL RECONSTITUÍDO A PARTIR DO SISAL (*Agave sisalana*) PARA
ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Submetido em 05 de Agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Sandro Fábio César - Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina – Doutor em Engenharia de Produção

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPEC – UFBA

Prof^a. Dr^a. Rita Dione Araújo Cunha – Coorientadora

Universidade Federal de Santa Catarina – Doutora em Engenharia de Produção

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPEC – UFBA

Prof^a. Dr^a. Joyce Batista Azevedo – Avaliadora externa

Universidade Federal de Campina Grande – Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais

Programa de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial – PPG – GETEC – SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Rubens Maribondo do Nascimento – Avaliador externo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina / RWTH-Aachen University (Alemanha).

Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPG-CEM - UFRN

Aos meus pais, Pedro e Eva, que com amor, dedicação e abdicção me educaram com disciplina, força de vontade e fé para viver os sonhos.

À minha tia Cremilda (*in memoriam*) que incentivou e agiu em prol da minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e à Nossa Senhora Rainha dos Céus por estender seu Manto sobre meu caminho.

À minha base familiar: meu pai, Mestre Pedro e minha mãe Eva, e aos meus irmãos, Leticia e Pedro Henrique, que me permitiram experimentar e compreender o amor em sua plenitude.

À Milena pelo carinho e sua família, Wendel, Sr. Ailton e D. Sirleide, pela paciência e compreensão na ausência e pelos incentivos à mim imputados.

À minha querida tia Cremilda (*in memoriam*) que especialmente partiu no meio deste processo; a tio *Jãozinho* pela ajuda na produção do material da pesquisa.

Ao Prof. Sandro Fábio César, meu estimado orientador, pelos ensinamentos passados, pelas discussões acrescentadas e pelo ombro amigo ofertado. O sua humanidade e paciência possibilitaram a minha evolução pessoal. Gratidão por ter acreditado no potencial deste trabalho.

À Prof^a (Pró) Rita Dione Araújo Cunha, eminente coorientadora, pelo olhar atento e fomentar discussões imprescindíveis ao êxito deste estudo.

Aos amigos, pela paciência aos convites declinados, pela felicidade espontânea e pela troca contínua que tornou mais fácil este processo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPEC), a Escola Politécnica e a Universidade Federal da Bahia (UFBA), pelo corpo docente de alto nível, pela infraestrutura e pelos eventos oportunizados durante o Mestrado.

Aos colegas do Laboratório de Madeiras (LABMAD/UFBA), pela parceria e troca durante os anos de trabalho. Aos colaboradores da carpintaria do LABMAD, na pessoa de Dênis, pela ajuda na confecção do material da pesquisa.

Ao serralheiro Sr. Jossenilson (*terrinha*) que muito contribuiu na confecção dos moldes para prensagem.

Ao Prof. Daniel Vêras Ribeiro do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais (DCTM) e aos colegas mestrandos e doutorandos do Laboratório de Ensaaios em Durabilidade dos Materiais (LEDMa/UFBA), especialmente através de Henrique, Nilson e Silas.

Ao Prof. Bernardo Ordonez do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação (DEEC) e ao técnico Marcus Vinícius pela solicitude.

A profª. Ana Márcia M. L. Carvalho do Laboratório de Propriedades da Madeira, Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Profª. Angélica de Cassia Oliveira Carneiro do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LA-PEM/UFV).

Ao Instituto Gonçalo Muniz (IGM) através da Fundação Oswaldo Cruz (FIO-CRUZ/BAHIA) na pessoa do Sr. Márcio Santos.

À EZAT (Euro & Zanetti) Análises Térmicas, através do Eng. Msc. Robin Bahr Jr. e o Eng. Pedro Zanetti.

À Newtech Assessoria, Consultoria e Prestação de Serviços Ltda, através de Eng. Dr. Miguel Luis de Souza.

À RENTEC Refratários e Isolantes Térmicos Ltda por ceder as amostras de lãs isolantes e placas isolantes.

À FAPESB, pelo auxílio financeiro através da bolsa de estudo concedida.

“Quem, seguro de si, cego no Sol, entrar por este Pasto incendiado, verá o riso, o choro e o desatino de um grande Povo, pobre e iluminado, forjado ao sol-castanho da Favela e ao sangue do Arraial do Leopardo.”

(“A Ilumiara: Romance de Dom Pantero no Palco dos Pecadores”, SUASSUNA, Ariano. 1ª Ed, Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2017, p. 480).

COSTA, Lucas Lima. **PAINEL RECONSTITUÍDO A PARTIR DO SISAL (*Agave sisalana*) PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

RESUMO

As construções do semiárido brasileiro estão sujeitas a grande variabilidade de temperatura sazonalmente, o que implica em condições desfavoráveis nas habitações dessa região quanto ao desempenho térmico. Ao mesmo tempo, o emprego de tecnologias que visam o conforto térmico das habitações apresenta inconvenientes quanto a aplicação, desde o consumo de matérias-primas não renováveis à emissão de gases poluentes e nocivos à saúde humana. A flecha de sisal é um subproduto do *Agave sisalana*, espécie explorada na região sisaleira para produção de fibras. Entretanto, a flecha é um resíduo subestimado, encontrado em grande quantidade na região sisaleira e que, segundo a bibliografia, por ser um material lignocelulósico, poderia ser convertido em painel reconstituído. Aliado a isto, a baixa condutividade térmica da celulose $0,039$ a $0,046$ $W/(mk)$ tornaria o painel gerado uma solução isolante térmica às edificações, com menor impacto ambiental, sobretudo as construções do semiárido. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e analisar o material reconstituído a partir da flecha do sisal e resina poliuretana à base de mamona tendo em vista o potencial de materiais lignocelulósicos quanto a capacidade de isolamento térmico e o favorável processo de reconstituição. As flechas do sisal foram caracterizadas fisicamente através da NBR 7190 (ABNT, 1997); A microestrutura das flechas, a composição química e degradação térmica também foram analisadas. A reconstituição dos painéis foi feita a partir da flecha de sisal triturada e emprego de resina poliuretana à base de mamona; o material reconstituído foi classificado de acordo com a bibliografia e a NBR 14810 (ABNT, 2002), que também foi a diretriz para os ensaios físicos e mecânicos no material desenvolvido. A determinação da condutividade térmica do material foi feita pelo método da placa quente protegida, utilizando-se a NBR 15220 (ABNT, 2005). A avaliação da capacidade isolante térmica foi feita com pelo método do calorímetro. Verificou-se também o grau de degradação biológica, por ataque de cupim, e a inflamabilidade do painel através da UL 94 V e H (Underwriters Laboratories Inc., 1998). Os resultados encontrados estão de acordo com materiais reconstituídos observados na revisão de literatura; As análises de degradação térmicas demonstram estabilidade da matéria-prima para emprego como isolante térmico residencial quanto a análise de degradação térmica para temperaturas inferiores a 200 °C; As características físicas do painel como inchamento e absorção são superiores às referências, entretanto a densidade e umidade mantiveram-se nos limites da revisão; Os painéis produzidos com miolo de flecha e teor de 10% de resina de mamona e tensão de prensagem de 2 MPa demonstraram maior estabilidade dimensional após cura; As características mecânicas dos painéis de flecha são compatíveis com a classificação do painel desenvolvido; A capacidade isolante térmica foi superior ao de materiais comumente empregados na construção civil; Já a condutividade térmica do painel teve desempenho superior aos materiais sintéticos e de origem vegetal comprados, com coeficiente de condutividade térmica média de $k = 0,0251$ $W/m.k$ para painéis de 10 mm sobrepostos em 3 camadas e de $k = 0,0243$ $W/m.k$ para painéis com 30 mm de espessura, estes resultados classificam o painel desenvolvido como bom isolante térmico. A degradação biológica por térmita de solo da espécie *Nasutitermes corniger* observou menos interesse no consumo do painel do que em relação à flecha *in natura* que foi 17,9% maior. Já a degradação por chama do painel demonstrou capacidade auto-extinguível para queima horizontal, embora na queima vertical a chama tenha degradado o corpo de prova até o grampo de apoio, com velocidade de 175,47 mm/minuto.

Palavras-chave: Isolante térmico. Flecha de sisal. Região sisaleira. Material reconstituído. Resina poliuretana à base de mamona. Sustentabilidade. Renovável.

COSTA, Lucas Lima. **PARTICLEBOARD PRODUCED FROM SISAL (*Agave sisalana*) FOR RESIDENCIAL THERMAL INSULATION**. 2022. Master Dissertation (MSc in Civil Engineering) – Polytechnic School, Federal University of Bahia, Salvador, 2022.

ABSTRACT

Constructions in the Brazilian semi-arid region are subject to great seasonal temperature variability, which implies unfavorable conditions in housing in this region in terms of thermal performance. At the same time, the use of technologies aimed at the thermal comfort of homes has drawbacks in terms of application, from the consumption of non-renewable raw materials to the emission of polluting gases that are harmful to human health. The sisal inflorescence is a by-product of *Agave sisalana*, a species exploited in the sisal region for fiber production. However, the inflorescence is an underestimated residue, found in large quantities in the sisal region and which, according to the bibliography, as a lignocellulosic material, could be converted into a reconstituted panel. Allied to this, the low thermal conductivity of cellulose 0,039 a 0,046 W/(mk) would make the generated panel a thermal insulating solution for buildings, with less environmental impact, especially constructions in the semi-arid region. This work aims to develop and analyze a reconstituted material produced with the sisal inflorescence and polyurethane castor based resin, considering the potential of lignocellulosic materials in terms of thermal insulation capacity and the favorable reconstitution process. The sisal inflorescences were physically characterized using NBR 7190 (ABNT, 1997); Inflorescence microstructure, chemical composition and thermal degradation were also analyzed. The reconstitution of the panels was made from the crushed sisal inflorescence and the use of castor based polyurethane resin; the reconstituted material was classified according to the bibliography and NBR 14810 (ABNT, 2002), which was also the guideline for physical and mechanical tests on the material developed. The determination of the material's thermal conductivity was performed by the protected hot plate method, using NBR 15220 (ABNT, 2005). The evaluation of the thermal insulating capacity was performed using the calorimeter method. The degree of biological degradation, by termite attack, and the flammability of the panel were also verified by UL 94 V and H (Underwriters Laboratories Inc., 1998). The results found are in agreement with reconstituted materials observed in the literature review; The thermal degradation analyzes demonstrate the stability of the raw material for use as residential thermal insulator as the degradation analysis for temperatures below 200 °C; The physical characteristics of the material such as swelling thickness and water absorption are higher than the results found in references, however the density and humidity remained within the limits of the review; The panels produced with inflorescence core and content of 10% of castor resin and pressing tension of 2 MPa showed greater dimensional stability after curing; The physical and mechanical characteristics of the panels are compatible with the classification of the developed insulator; The thermal insulation capacity verified was higher than the materials commonly used in constructions; The thermal conductivity coefficient of the developed panel had a better performance compared to vegetal and synthetic thermal insulation materials. The panels with 3 layers of 10 mm each had $k = 0.0251$ W/m.k and the panel with a single layer of 30 mm had $k = 0.0243$ W/m.k; these results classify the panel as a good thermal insulator. The biological degradation by soil termites of the *Nasutitermes corniger* species, observed less interests for panel consumption than in relation to the sisal bloom stalk *in natura*, which was 17.9% higher. For thermal degradation by fire, it showed self-extinguishing capacity for horizontal burning, however for vertical burning the fire had consumed the specimen till the holding clip, with a velocity of burning of 175.47 mm/minute. The found results indicates the potential of using sisal bloom stalk panels in order to thermal insulation applicability for residential purpose.

Keywords: Thermal insulation. Sisal's inflorescence. Sisal Region. Reconstituted material. Castor oil-based polyurethane. Sustainability. Renewable.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de classificação das placas, chapas e painéis reconstituídos....	11
Figura 2: A mamona e seus derivados.....	15
Figura 3: Condutividade térmica para alguns materiais.....	17
Figura 4: Cultivo de sisal.....	31
Figura 5: Sisal e inflorescência.....	31
Figura 6: Principais produtos produzidos pelo grupo HR.....	32
Figura 7: Produtos produzidos pela associação APAEB.....	33
Figura 8: Flechas de sisal coletadas.....	33
Figura 9: Trama de flecha de sisal e plantação envolta a casa de taipa.....	34
Figura 10: Instrumentos feitos da flecha do sisal pela Orquestra Sisaleira.....	34
Figura 11: Flecha do sisal com 4,20 m de comprimento.....	35
Figura 12: Fluxograma da metodologia.....	39
Figura 13: Flechas coletadas para o desenvolvimento deste estudo.....	41
Figura 14: Resina poliuretana à base de mamona.....	42
Figura 15: Equipamentos para determinação das propriedades físicas do miolo da flecha e dos corpos de prova reconstituídos.....	43
Figura 16: Equipamentos para trituração e seleção do material para posterior análise química do miolo da flecha de sisal.....	43
Figura 17: Equipamentos para análise da microestrutura do miolo da flecha.....	44
Figura 18: Equipamentos para análise térmica no miolo e na resina.....	44
Figura 19: Equipamentos para confecção dos corpos de prova reconstituídos.....	45
Figura 20: Prensa universal para ensaios mecânicos no material reconstituído.....	46
Figura 21: Equipamentos para determinação da condutividade térmica.....	46
Figura 22: Esquema do equipamento para determinação da condutividade térmica.....	47

Figura 23: Equipamentos para ensaio de isolamento térmico.....	47
Figura 24: Aparatos para ensaio de degradação biológica.....	48
Figura 25: Inflamabilidade – Queima horizontal.....	48
Figura 26: Inflamabilidade – Queima vertical.....	48
Figura 27: Obtenção dos CPs para ensaios físicos no miolo da flecha.....	49
Figura 28: Determinação de massa e secagem dos CPs.....	50
Figura 29: Processo de Inchamento e absorção dos CPs após imersão.....	51
Figura 30: Trituramento e material com finura menor que 60 MESH.....	52
Figura 31: Processo de metalização e visualização da flecha através do MEV.....	53
Figura 32: Amostra e resíduo pós TGA na flecha e na resina.....	54
Figura 33: Coleta, corte, limpeza e trituração da flecha de sisal.....	55
Figura 34: Granulometria do material retido em diferentes peneiras.....	56
Figura 35: Partículas e secagem das partículas.....	57
Figura 36: Processo de determinação da umidade da matéria prima.....	57
Figura 37: Homogeneização da resina e partículas.....	59
Figura 38: Processo de prensagem do painel.....	60
Figura 39: Processo de desforma e aparelhamento do painel.....	61
Figura 40: Posições para medição de espessura da amostra.....	62
Figura 41: Processo de umidade e densidade dos painéis.....	63
Figura 42: Procedimento para ensaios de inchamento e absorção.....	64
Figura 43: Ensaio de flexão estática.....	65
Figura 44: Ensaio de tração perpendicular.....	67
Figura 45: Execução do ensaio de tração perpendicular.....	68
Figura 46: Ensaio de compressão longitudinal.....	69
Figura 47: Equipamento montado para determinação da condutividade térmica.....	71
Figura 48: Determinação da condutividade térmica.....	72

Figura 49: Ensaio de ataque de térmica de solo.....	73
Figura 50: CPs para queima horizontal e vertical.....	74
Figura 51: Origem dos corpos de prova para ensaios.....	75
Figura 52: Vista transversal do miolo da flecha de sisal.....	81
Figura 53: Vista longitudinal do miolo da flecha de sisal.....	82
Figura 54: Vista de um elementos anatômico do miolo da flecha de sisal.....	82
Figura 55: Perfil de painéis produzidos com 1MPa e teor de resina variável.....	85
Figura 56: Perfil de painéis produzidos com 2MPa e teor de resina variável.....	86
Figura 57: Vista do corpo-de-prova após ensaio de flexão estática.....	95
Figura 58: Corpo-de-prova após ruptura no ensaio de tração.....	96
Figura 59: Corpo-de-prova após encurtamento no ensaio de compressão.....	98
Figura 60: CPs após ensaio de degradação por térmita de solo.....	104
Figura 61: CPs antes e após ensaio de degradação por chama – queima horizontal.....	105
Figura 62: CPs após ensaio de degradação por chama – queima vertical.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades da resina à base de mamona. Proporção 2:1.....	16
Quadro 2 – Mecanismo de transmissão de calor.....	18
Quadro 3 – Calor específico de alguns materiais.....	21
Quadro 4 – Propriedades de condutividade térmica e densidade de alguns materiais isolantes empregados na construção civil.....	22
Quadro 5 – Materiais industrializados empregados para isolamento térmico.....	24
Quadro 6 – Materiais não convencionais estudados para isolamento térmico.....	27
Quadro 7 – Morfologia do sisal.....	31
Quadro 8 – Nomes encontrados na bibliografia para a flecha do sisal.....	35
Quadro 9 – Painéis com materiais alternativos.....	37
Quadro 10: Teores de resina de mamona encontrados na bibliografia.....	38
Quadro 11 – Equipamentos para ensaios na matéria prima e no reconstituído.....	43
Quadro 12: Equipamentos utilizados para análise da composição química do miolo da flecha de sisal.....	43
Quadro 13: Equipamentos utilizados para análise microscópica no miolo da flecha de sisal.....	44
Quadro 14: Equipamentos utilizados para análise termogravimétrica na matéria-prima.....	44
Quadro 15: Equipamentos utilizados para manufatura do isolante reconstituído.....	45
Quadro 16: Equipamentos utilizados para ensaios mecânicos no painel.....	46
Quadro 17: Equipamentos utilizados para ensaios determinação da condutividade térmica no painel isolante.....	46
Quadro 18: Equipamentos utilizados para determinação do isolamento térmico.....	47
Quadro 19: Equipamentos utilizados para verificar a degradação por térmita de solo.....	49
Quadro 20: Equipamentos utilizados para verificar inflamabilidade do reconstituído.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Porcentagens retidas nas respectivas peneiras.....	55
Tabela 2 – CPs, quantidades e dimensões.....	75
Tabela 3 – Resultado do ensaio de umidade no miolo da flecha de sisal.....	77
Tabela 4: Resultados do ensaio de inchamento e absorção.....	78
Tabela 5: Composição química do miolo da flecha de sisal.....	79
Tabela 6: Composição química da folha e do miolo da flecha de sisal.....	79
Tabela 7: Teores de umidade do painel de flecha de sisal.....	88
Tabela 8: Densidade dos painéis de miolo flecha de sisal.....	89
Tabela 9: Resultados obtidos para o módulo de ruptura dos painéis.....	93
Tabela 10: Resultados obtidos para o módulo de elasticidade dos painéis.....	94
Tabela 11: Resultados obtidos para tração perpendicular.....	96
Tabela 12: Resistência à compressão paralela do painel de flecha.....	97
Tabela 13: Velocidade de queima vertical dos CPs de painel reconstituído.....	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas
APAEB	Associação de Desenvolvimento Sustentável e Solidário da Região Sisa-leira da Bahia
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CNIP	Centro Nordestino de Informações Sobre Plantas
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
PNUMA	Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente
UFBA	Universidade Federal da Bahia

LISTA DE SÍMBOLOS

U (%)	Umidade
m_i	Massa inicial
m_s	Massa seca
ρ_{ap}	Densidade aparente
m_{12}	Massa da amostra a 12% de umidade
v_{12}	Volume da amostra a 12% de umidade
m_u	Massa inicial da amostra
D	Densidade
M	Massa
V	Volume
L	Largura
E	Espessura
\bar{x}	Média das amostras
x	Propriedade do elemento estudado
n	Número de amostras
S_x	Desvio padrão
δ	Coeficiente de variação
q	Fluxo de calor
k	Condutividade térmica
d	Derivada
T	Tempo
x	Meio material
P	Carga de ruptura
D	Distância entre os apoios
B	Largura do corpo-de-prova
E	Espessura do corpo-de-prova
$P1$	Carga no limite proporcional
d	Deflexão
S	Área superficial do corpo-de-prova
f	Força de ruptura
λ	Condutividade térmica de material conhecido
a	Área da seção transversal
Δt	Diferença de tempo
e	Espessura do corpo-de-prova

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	3
1.2	HIPÓTESE.....	3
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.3.1	Objetivo geral.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	JUSTIFICATIVA.....	4
1.5	SÍNTESE DA METODOLOGIA.....	5
1.6	DELIMITAÇÃO DO DA PESQUISA.....	6
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	8
1.8	INEDITISMO DO TRABALHO.....	9
1.9	CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	Reconstituição de materiais lignocelulósicos.....	10
2.2	Adesivos para reconstituição: a alternativa mamona.....	13
2.3	Condutividade térmica.....	16
2.4	Materiais para isolamento térmico.....	22
2.5	Materiais vegetais para isolamento térmico.....	25
2.6	O <i>Agave sisalana</i>	29
2.7	A flecha do sisal e o semiárido.....	33
2.8	Viabilidade da flecha de sisal e resina à base de mamona.....	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1	Materiais.....	41
3.1.1	Flecha de sisal.....	41

3.1.2	Resina Poliuretana à base de mamona.....	42
3.1.3	Equipamentos	42
3.2	Métodos.....	49
3.2.1	Ensaio físico na flecha de sisal.....	49
3.2.1.1	Umidade e densidade aparente da flecha de sisal.....	49
3.2.1.2	Inchamento e absorção do miolo da flecha.....	51
3.2.2	Determinação da composição química do miolo.....	52
3.2.3	Microestrutura do miolo da flecha de sisal.....	52
3.2.4	Análise termogravimétrica do miolo da flecha de sisal.....	53
3.2.5	Manufatura do painel reconstituído.....	54
3.2.5.1	Obtenção da matéria-prima – miolo da flecha de sisal.....	54
3.2.5.2	Seleção das partículas.....	55
3.2.5.3	Determinação da umidade das partículas.....	56
3.2.5.4	Adição da resina às partículas e homogeneização.....	58
3.2.5.5	Formação do colchão e prensagem do painel.....	59
3.2.5.6	Cura e acabamento.....	60
3.2.6	Ensaio no painel.....	61
3.2.6.1	Propriedades físicas.....	61
3.2.6.1.1	Umidade e densidade.....	61
3.2.6.1.2	Inchamento e absorção.....	63
3.2.6.2	Propriedades mecânicas.....	65
3.2.6.2.1	Flexão estática.....	65
3.2.6.2.2	Tração perpendicular.....	66
3.2.6.2.3	Compressão longitudinal.....	68
3.2.6.3	Propriedades térmicas.....	69

3.2.6.3.1	Condutividade térmica.....	69
3.2.6.3.2	Isolamento térmico.....	71
3.2.6.4	Degradação.....	73
3.2.6.4.1	Biológica: térmica de solo.....	73
3.2.6.4.2	Inflamabilidade.....	74
3.2.7	Corpos-de-prova para ensaios nos painéis.....	75
3.2.8	Análise estatística.....	76
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	77
4.1	Propriedades físicas do miolo da flecha de sisal.....	77
4.1.1	Umidade e densidade.....	77
4.1.2	Inchamento e absorção.....	78
4.2	Propriedades químicas do miolo da flecha de sisal.....	79
4.3	Microestrutura do miolo da flecha de sisal.....	80
4.4	Degradação térmica do miolo da flecha de sisal.....	83
4.5	Estabilidade dimensional do painel de flecha de sisal.....	84
4.6	Propriedades físicas dos painéis reconstituídos.....	87
4.6.1	Umidade e densidade.....	87
4.6.2	Inchamento.....	89
4.6.3	Absorção.....	91
4.7	Propriedades mecânicas dos painéis reconstituídos.....	93
4.7.1	Flexão estática (MOR e MOE).....	93
4.7.1.1	Módulo de ruptura – MOR.....	93
4.7.1.2	Módulo de elasticidade – MOE.....	94
4.7.2	Tração perpendicular.....	96
4.7.3	Compressão paralela.....	97

4.8	Propriedades térmicas dos painéis reconstituídos.....	98
4.8.1	Isolamento térmico.....	98
4.8.2	Condutividade térmica.....	103
4.9	Propriedades de degradação do painel de flecha de sisal.....	104
4.9.1	Degradação biológica.....	104
4.9.2	Inflamabilidade.....	105
5	CONCLUSÕES.....	108
5.1	Lacunas e sugestões para trabalhos futuros.....	110
6	REFERÊNCIAS.....	111
7	ANEXOS.....	125

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias baseadas no emprego de resíduos lignocelulósicos, como a concepção de novos produtos aplicáveis ao ambiente construído, demandam questões relacionadas ao processo de desenvolvimento tais como a otimização dos recursos disponíveis e a adequação do projeto às condições do local que este se destina, entre outros. Estas questões têm favorecido as buscas por mecanismos que viabilizem a construção sustentável e também têm alavancado métodos construtivos que demandem menores impactos ambientais, consoante às recomendações para as Construções Sustentáveis, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2020).

O emprego de resíduos madeireiros subqualificados para indústria, tais como a maravalha, o cavaco e o pó de serragem, entre outros, empregados no desenvolvimento de painéis para a construção civil, não é a única alternativa para a construção e seus variados cenários, mas também o uso de outros insumos vegetais, a exemplo dos resíduos agroindustriais. Dessa maneira, amplia-se o leque de matérias-primas alternativas, passíveis ao desenvolvimento de novos produtos, ressaltando-se, a relevância deste aspecto, como afirmado por Guimarães Junior (2011), sobre o potencial que os materiais lignocelulósicos detêm para serem transformados em produtos reconstituídos.

Dentre os subprodutos do *Agave sisalana*, as fibras constituem grande relevância econômica sendo fator de perpetuação da exploração do sisal nas últimas décadas, beneficiadas nas indústrias de fios, cordas, mantas, tapetes, sacos, bolsas, estofamento, vassouras, entre outros (BROWN, 2002; MARTINS et al., 2009; DA SILVA et al., 2008). Contudo, a flecha ou pedúnculo floral, outro subproduto da espécie, foi inserido nas construções do semiárido, servindo como solução aos processos construtivos, desde a inserção do sisal no Nordeste brasileiro.

A flecha do sisal é um resíduo vegetal da exploração da *Agave sisalana*. Extraído ao final do ciclo vegetativo da planta, a flecha pode atingir altura de 6 a 8 metros, e crescer de 10 a 12 cm por dia (DA SILVA et al., 2008). Muito embora, segundo Costa et al. (2019b), na região sisaleira é mais comum encontrar exemplares com altura até 6 metros. Devido à profusão e não emprego das flechas o material gerado é descartado, queimado, ou recebe uma destinação menos nobre, como uso na

construção de cercas ou escoramento de elementos estruturais de concreto armado moldado *in loco* (COSTA et al., 2019a).

Além disso, uma preocupação atual do desenvolvimento de reconstituídos está no emprego de resinas termofixas provenientes de fontes não renováveis e que apresentam inconvenientes ao uso, tais como dificuldade de reciclagem e liberação de gases tóxicos (GONZÁLEZ-GARCIA *et al.*, 2011). Assim, nos últimos anos, a resina poliuretana à base de mamona tem sido usada como alternativa à produção de reconstituídos, unindo a origem vegetal do material e o desempenho satisfatório como encontrado por Ferro *et al.* (2019), Machado *et al.* (2017) e Cravo et al. (2015).

No mais, o desenvolvimento de um novo produto de origem vegetal aplicável como isolante térmico ao ambiente construído atravessa algumas questões relevantes para o bom desempenho da nova solução. Explorar pontos como a estabilidade do material durante o seu manuseio e a aplicação, a eficiência quanto às solicitações térmicas e mecânicas que esteja submetido e o comportamento deste novo material diante dos mecanismos de degradação são critérios relevantes para o desenvolvimento de um novo produto isolante térmico.

Por ser uma discussão recente nas pesquisas, o emprego de resíduos vegetais para o desenvolvimento de reconstituídos voltados ao isolamento térmico, atualmente não há referência normativa nacional e internacional que dê suporte ao desenvolvimento do tema. Assim, a metodologia empregada para explorar o estudo aqui descrito, baseou-se na metodologia de artigos, principalmente de periódicos internacionais, dissertações e teses que contribuíram nos últimos anos para este tema.

Diante do exposto, o desenvolvimento de um produto reconstituído a partir da flecha de sisal pode oferecer uma alternativa à proteção de edificações, fornecendo isolamento térmico adequado, além de aproveitar e dar um destino mais nobre a um resíduo proveniente da exploração do sisal no semiárido brasileiro. E, também, o emprego da resina poliuretana à base de mamona possibilitaria o desenvolvimento de um produto com menor grau de impacto ambiental atendendo às exigências modernas ao desenvolvimento de novas tecnologias e explorando produtos regionalizados como soluções.

1.1 Problema da pesquisa

O aproveitamento do miolo de flecha de sisal em painel reconstituído composto com resina à base de mamona confere desempenhos adequados de isolamento térmico e de características físico-mecânicas para aplicação em edificações?

1.2 Hipótese

Ao reconstituir um painel com miolo da flecha de sisal triturado, fazendo um compósito com resina à base de mamona, considerando o teor de umidade das partículas de sisal, a proporção da resina com relação às partículas e a força de prensagem no processo produtivo do painel, este terá um desempenho termo isolante e características físico-mecânicas adequadas para o emprego em construções.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um painel reconstituído usando o miolo da flecha de sisal e resina poliuretana à base de mamona para ser empregado no isolamento térmico de edificações.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Investigar as propriedades físicas, a composição química e microscópica do miolo da flecha de sisal;
- b) Analisar o comportamento de degradação térmica da matéria-prima para produção do reconstituído;
- c) Produzir o isolante térmico a partir da flecha de sisal e com menor consumo de resina poliuretana à base de mamona;
- d) Analisar as propriedades físicas e mecânicas do painel reconstituído;
- e) Averiguar o coeficiente de condutividade térmica do painel proposto e ensaiar o seu desempenho de isolamento térmico.
- f) Estudar a degradação por térmita de solo¹ e inflamabilidade do painel proposto.

¹Térmitas ou cupins são insetos eussociais da ordem Isoptera, com mais de 2750 espécies conhecidas e bem adaptados às regiões tropicais (CONSTANTINO, 2005 e GALLO et al., 2002.).

1.4 Justificativa

Embora essencial ao desenvolvimento nacional, é cada vez mais constante que a construção civil vem sendo cobrada devido aos impactos ambientais relacionados à atividade que exerce (DANTAS *et al.*, 2015). Com isto, o MMA (2020) demonstra que as pesquisas atuais na área da construção convergem quanto ao emprego de materiais naturais que envolvem pouco processamento, e que esta prática fomenta a readaptação construtiva respaldada sobre os impactos da construção, minorando os efeitos do consumo de materiais e energias. Desta maneira, os produtos modernos deverão ser oriundos de novos materiais ou aperfeiçoamento dos materiais já existentes, e devem ser desenvolvidos como soluções de menor impacto ambiental e de desempenho técnico semelhantes ou mesmo superiores aos atuais, e ainda devem ser economicamente viáveis (JOHN, 2017).

Taha *et al.* (2018) demonstram que o mercado global de painéis produzidos a partir de madeira cresce anualmente apesar da diminuição da disponibilidade dos recursos florestais, principalmente em regiões com escassez de madeira. Este fato, segundo os autores, tem condicionado a busca persistente por materiais lignocelulósicos alternativos que possam ser empregados na produção de reconstituídos.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) demonstram que a Bahia é o principal produtor do sisal no país, responsável por mais de 94% de toda fibra produzida, tendo como origem a denominada “Região sisaleira”. Este cenário torna o Brasil o principal produtor e exportador do sisal, destinando em média 70% de toda fibra produzida ao mercado internacional, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018).

No Nordeste do Brasil, os principais estados produtores de sisal destinam 5,2 milhões de hectares ao plantio de agave. No ano de 2018, apenas 91.306 ha (1,74% da área total) foram colhidos (IBGE, 2019), tomando como base de cultivo empregada pelo estado da Paraíba de 5000 plantas/ha, sendo esta densificação a mais conservadora entre as densidades de produção. Estima-se que, somente no ano de 2018, tomando-se 10% da extração do escapo floral, foram colhidos mais de 45 milhões de flechas (SILVA *et al.*, 2008 e COSTA *et al.* 2020), representando esta estimativa uma lacuna para o possível desenvolvimento de um produto ou processo que

agregue valor a partir do potencial da flecha, mesmo que, não seja possível estimar o volume de flechas que é descartado anualmente.

O consumo de matérias-primas renováveis no desenvolvimento de novos produtos e a utilização racional na demanda de energias térmicas são questões atuais relevantes. Desse modo, o emprego de resíduos vegetais oriundos das atividades agroindustriais na produção de painéis reconstituídos em vista das propriedades térmicas tem demonstrado a aptidão destes insumos, que são menos danosos durante a produção, não nocivos à natureza, quando descartados, e de custos demasiadamente inferiores, pois são produzidos com resíduos antes rejeitados que recebem finalidade mais nobre (CRAVO, et al. 2014 e MENDES, et al. 2012).

Pesquisas relacionando alguns dos principais bancos de dados nacionais e internacionais como Scopus, Science Direct, Engineering Village, Google Acadêmico e Web of Science, demonstram a escassez de publicações voltadas ao tema, evidenciando-se o potencial do material isolante proposto como uma solução passível às novas questões do setor da construção, contudo condicionado a avaliação técnica na viabilização através do atendimento às exigências funcionais e normativas do novo material.

1.5 Síntese da metodologia

O trabalho está dividido em três etapas: sendo a primeira teórica, a segunda voltada aos ensaios experimentais e a terceira reservada a análise e interpretação dos dados.

A parte teórica consistiu da revisão bibliográfica elaborada a partir de teses, dissertações, livros e artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, tais como os disponíveis nas bases Scielo, Scopus, Engineering Village, Google Acadêmico, Science Direct, além de bancos de dados de universidades, e teve como objetivo o levantamento do estado da arte do tema deste estudo.

A etapa de caráter experimental foi dividida em duas partes. Na primeira, foram realizados os ensaios de caracterização da matéria-prima para produção dos painéis. E a segunda contemplou a manufatura dos painéis e análise das propriedades do produto reconstituído.

As propriedades físicas do miolo da flecha de sisal foram determinadas através da NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 1997). A composição química do miolo foi determinada através da TAPPI UM 250, TAPPI T222 om-02 e TAPPI T211 om-93. A microestrutura do miolo da flecha foi analisada com uso de MEV (microscópio eletrônico de varredura). E, as propriedades de degradação térmica do miolo e da resina foram determinadas conforme a American Society for Testing and Materials, ou simplesmente ASTM E 1131 (ASTM, 2008).

A manufatura dos painéis seguiu uma sequência metodológica para o processo de manufatura de reconstituídos de acordo com Iwakiri et al., (2005). Já as análises físicas e mecânicas do painel estão de acordo com as diretrizes da NBR 14 810-1 a 3 – Chapas de madeira aglomerada (ABNT, 2002).

O ensaio para determinação do coeficiente de condutividade térmica do material desenvolvido foi realizado através da NBR 15.220 – 4: Desempenho térmico de edificações: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida (ABNT, 2005). Já a capacidade isolante do material desenvolvido foi estudada adaptando-se a metodologia empregada por Oliveira et al., (2015).

O ensaio de degradação biológica pela térmita de solo *Nasutitermes corniger* foi realizado, empregando a metodologia adaptada de Melo et al., (2010) e Ribeiro (2011). O ensaio de inflamabilidade do painel foi realizado através da UL 94 (Underwriters Laboratories Inc., 1998) para queima vertical (V) e horizontal (H).

A metodologia detalhada desta pesquisa encontra-se no capítulo 3, no qual são pormenorizados os ensaios e experimentos, além de descritos os tratamentos estatísticos para os dados obtidos.

1.6 Delimitação da pesquisa

Para viabilizar o desenvolvimento deste estudo, delimitou-se neste estudo, empregar o miolo da flecha de sisal, obtido da exploração da *Agave Sisalana*, como matéria-prima que, após ser triturada e associada à uma resina, permitisse a obtenção de um isolante térmico aplicável às habitações. Optou-se também neste estudo, por empregar a resina poliuretana à base de mamona como aglomerante das partí-

culas, em vista da origem vegetal e renovável e dos benefícios técnicos encontrados na bibliografia.

Diante da escassez da literatura em relação às propriedades básicas do miolo da flecha de sisal, uma investigação paralela no miolo da flecha, analisou as propriedades físicas básicas, a composição química, a microestrutura e a degradação térmica deste material.

Para manufatura do produto desta pesquisa, limitou-se neste estudo, empregar uma cadeia de processos simplificada, adotando etapas e equipamentos que permitissem obter o isolante térmico, preservando as características de interesse para o novo produto desenvolvido. Portanto, delimitou-se triturar o miolo da flecha com triturador forrageiro, selecionar as partículas através de peneiramento, misturar as partículas e a resina manualmente e prensar o colchão com uso de prensa hidráulica. Tendo em vista o tempo previsto para o desenvolvimento da pesquisa, limitou-se a manufatura adotar teores de resina que permitisse a confecção de um painel estável com menor consumo de resina, sob condições de temperatura, tensão de prensagem e tempo de prensagem também limitados.

Pretendendo empregar a nova solução isolante nas edificações residenciais sujeitas a variação de temperatura devido à incidência solar, fez-se o recorte neste estudo para analisar as propriedades térmicas, a respeito da condutividade térmica e degradação térmica, em ambientes simulando a exposição do novo produto quanto a estas exigências, a fim de estudar a eficiência e durabilidade do novo isolante sob tais condições.

Por fim, compreendendo o painel isolante de flecha de sisal como uma alternativa de origem vegetal e renovável, frente aos materiais isolantes tradicionais, delimitou-se investigar as características físicas, mecânicas e de degradação do novo produto isolante térmico.

1.7 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos que compreendem: a introdução, a revisão bibliográfica, a metodologia, os resultados e discussões, e as conclusões.

No capítulo um é apresentada a introdução do trabalho, o qual traz a contextualização do tema, o problema de pesquisa, a hipótese, os objetivos do trabalho, sua justificativa, a síntese da metodologia, a delimitação do tema de pesquisa, a estrutura dos capítulos, o ineditismo da pesquisa e a contribuição da pesquisa.

No capítulo dois, consta a revisão bibliográfica realizada que respalda a proposta do material reconstituído de flecha de sisal e resina poliuretana à base de mamona com finalidade isolante térmica. Também neste capítulo, são abordados os processos de produção de materiais reconstituídos, o histórico de desenvolvimento desta tecnologia, a importância deste material para a construção civil, o emprego de materiais vegetais para o desenvolvimento de painéis reconstituídos, o histórico do cultivo do *Agave sisalana* e a relevância dos seus subprodutos (leia-se fibra e flecha do sisal), e uma análise bibliométrica que investiga a possibilidade de emprego da flecha do sisal para produção de painéis para isolamento térmico, bem como a viabilidade no uso da resina poliuretana à base de mamona para produção de materiais reconstituídos.

O capítulo três abrange a metodologia deste trabalho. Nela estão descritos os materiais e procedimentos metodológicos que foram adotados para alcançar os objetivos da pesquisa. Este capítulo foi dividido em duas etapas A e B. Em A estão relacionados os materiais utilizados para o desenvolvimento deste estudo, e em B tem-se a descrição dos ensaios, ou seja, a parte experimental detalhada.

O capítulo quatro traz os resultados da caracterização da matéria-prima empregada na produção do painel e também apresenta os resultados dos ensaios, mecânicos, físicos, térmicos e de degradação no produto gerado.

O capítulo cinco apresenta as conclusões do estudo, as lacunas diante do tema proposto e as possíveis investigações futuras.

1.8 Ineditismo do trabalho

O ineditismo desta pesquisa está associado ao emprego da flecha do sisal, que é um resíduo da produção de *Agave sisalana*, para produção de painéis reconstituídos voltados ao isolamento térmico de edificações. Embora a flecha de sisal (termo popular para pedúnculo ou escapo floral) seja facilmente encontrada nas regiões sisaleiras, há pouca exploração deste material e nenhum processo de beneficiamento para torná-la aplicável na construção civil.

Na literatura são encontrados materiais de origem vegetal, reconstituídos e voltados para o isolamento térmico de edificações, entretanto, nas principais bases de dados de pesquisas científicas não há estudos quanto ao uso da flecha de sisal para produção de reconstituídos voltados ao isolamento térmico. Isto evidencia que o tema abordado nesta pesquisa é de natureza inédita, contemplando o uso da flecha de sisal como matéria-prima para o desenvolvimento de uma solução isolante térmica.

1.9 Contribuição da pesquisa

O desenvolvimento de um novo material isolante térmico voltado às edificações tem possibilidade de impacto em variados setores da sociedade, tais como:

- Para a comunidade científica, o novo produto pode fomentar o desenvolvimento de pesquisas quanto ao emprego de resíduos vegetais voltados ao isolamento térmico de edificações, além de contribuir com publicações em revistas internacionais, devido ao ineditismo da nova solução.
- Para a sociedade as contribuições estão relacionadas ao emprego do novo produto, o que possibilitaria a criação de novos postos de trabalho para manufatura e aplicação do painel isolante, favorecendo a alavanca econômica através da criação de uma nova fonte de renda as comunidades exploradoras do sisal.
- Para o meio ambiente os benefícios estão relacionados ao uso de um produto de menor impacto ambiental, produzido por um resíduo antes descartado e que detém origem vegetal e renovável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentadas as questões relativas ao desenvolvimento de materiais reconstituídos, bem como o histórico e a evolução no emprego de materiais reconstituídos, a aplicação desta tecnologia ao setor da construção civil. Na sequência, é apresentada a adaptação e o uso destes materiais como isolantes térmicos nas edificações, o emprego de materiais vegetais não madeireiros na produção de painéis isolantes. Em seguida, é abordado o histórico do cultivo do *Agave sisalana* no semiárido brasileiro e o potencial da folha de sisal para o desenvolvimento de um material reconstituído. Por fim, é apresentado um estudo bibliométrico associado à discussão quanto à viabilidade da folha do sisal como matéria-prima ao desenvolvimento de um produto reconstituído para isolante térmico.

2.1 Reconstituição de materiais lignocelulósicos

O uso de derivados madeireiros nas construções está associado à sua disponibilidade. Assim, o homem primitivo começou a construir empregando a madeira na construção de abrigos para proteção pessoal, criação de animais e fabricação de utensílios com as espécies que estavam ao seu redor. Desta forma, a arte de trabalhar a madeira tem evoluído historicamente chegando à engenhosa indústria moderna (LOURENÇO & BRANCO, 2013).

Para Barbirato et al. (2014), com o ostensivo aumento no consumo de madeiras e a necessidade de produção de painéis reconstituídos que atendam aos padrões de qualidade e os anseios do comércio internacional para a proteção do meio ambiente, demandam-se novas tecnologias que otimizem o uso de insumos considerados como resíduos.

Em concordância com Guler et al. (2007), além do aumento exponencial no consumo de madeiras anualmente, a demanda por produção industrial de madeira tem levado ao declínio de florestas nativas, e isto tem forçado a indústria buscar por materiais lignocelulósicos que possam ser empregados na produção de painéis reconstituídos.

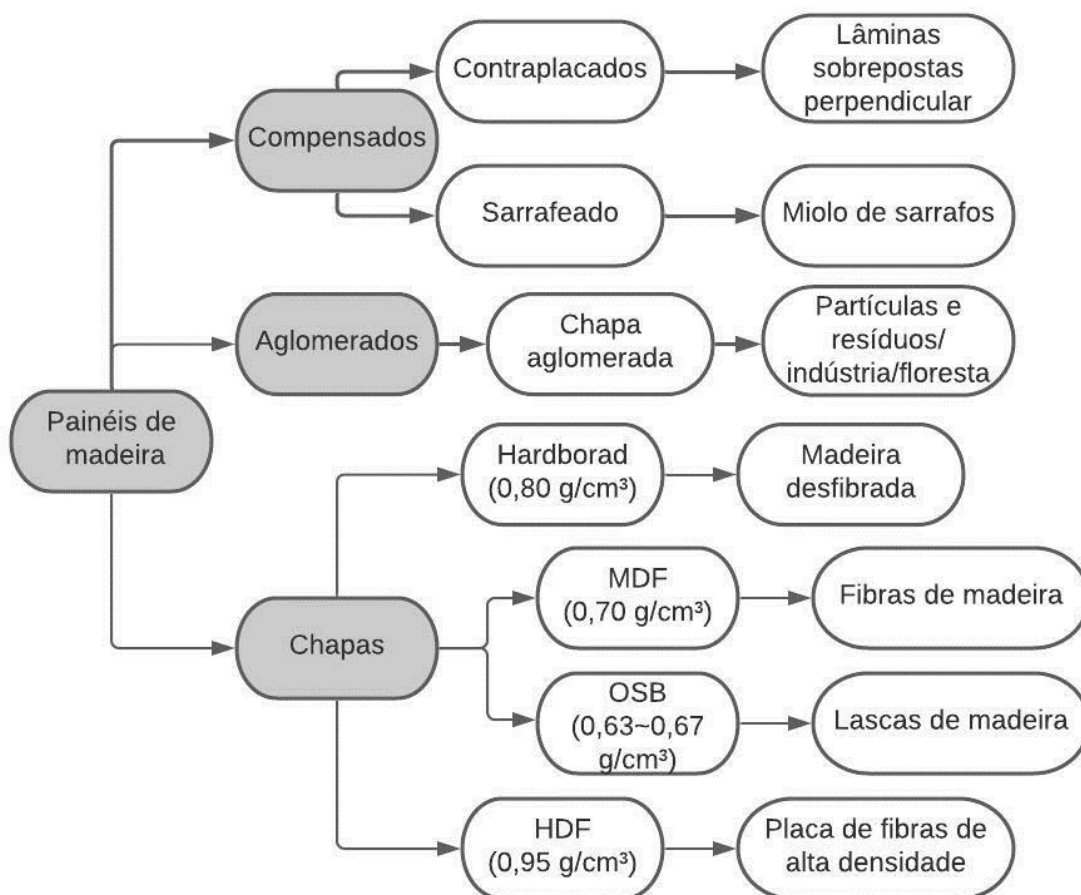
De acordo com Iwakiri et al. (2005), o desenvolvimento da solução em painéis particulados está atrelado ao movimento geopolítico imposto durante a Segunda

Guerra Mundial que levou ao isolamento da Alemanha e uma efetiva escassez da madeira em estado adequado a produção de compensados. Este isolamento exortou a busca por novas soluções na produção de painéis e forçou os alemães ao desenvolvimento de uma tecnologia, ainda em 1940, que permitia o emprego de resíduos lignocelulósicos para esta finalidade (KUBLER, 1980).

Segundo Bacha *et al.* (2007) e Guimarães Junior *et al.* (2011), os painéis aglomerados são objetos de forma retangular de configurações variadas, sendo encontrados em diferentes larguras, espessuras e comprimentos, constituídos de materiais lignocelulósicos variados como fibras vegetais, partículas e lascas de madeira.

Atualmente no mercado existe uma grande disponibilidade de tipos de painéis reconstituídos que são classificados de acordo a matéria-prima usada, a orientação das partículas e a densidade, por exemplo, conforme se pode observar na Figura 1.

Figura 1 – Esquema de classificação das placas, chapas e painéis reconstituídos.



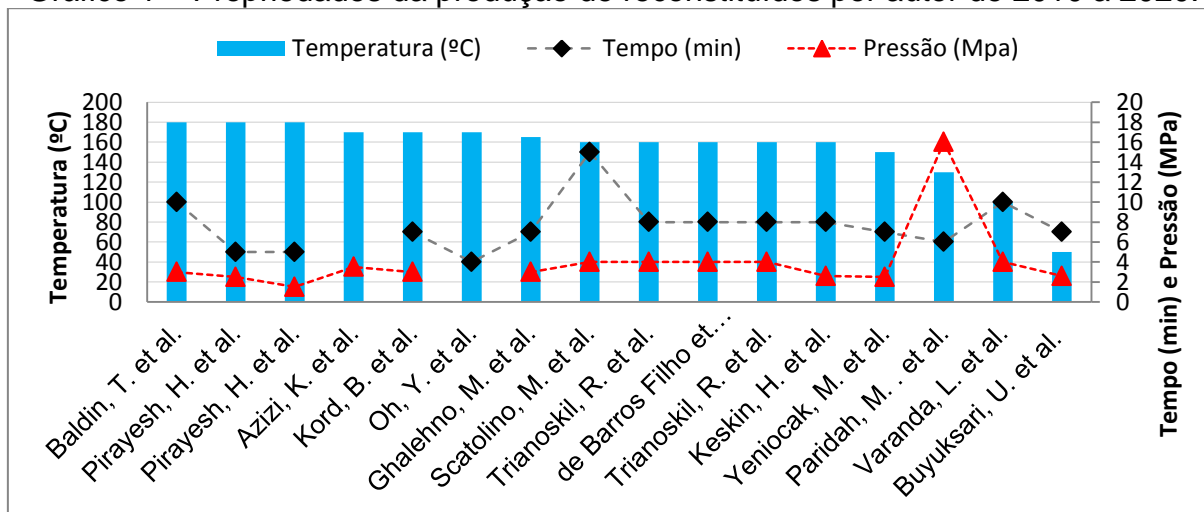
Fonte: Adaptado de Bacha *et al.* (2007) e NBR 14810-3 (ABNT, 2002).

A fabricação dos painéis reconstituídos relaciona-se ao emprego de partículas secas de madeiras e mistura de adesivos sintéticos termofixos, e todo e qualquer material lignocelulósico detém potencial para ser empregado na produção de chapas particuladas, o que segundo Bufalino (2010), torna-se de interesse especial principalmente em regiões onde há escassez de madeiras.

A NBR 14810-3 (ANBT, 2002) mostra que os painéis de madeira aglomerada, têm espessura entre 3 mm e 50 mm, e que, sendo a densidade do painel entre 551 kg/m³ a 750 kg/m³, ele é classificado como painel de madeira aglomerada de média densidade. Esta classificação pode definir os painéis com densidade menor e maior que este intervalo, sendo intitulados de painéis aglomerados de baixa densidade ou painéis aglomerados de alta densidade, respectivamente.

Dentre as características envolvidas no processo de manufatura dos painéis reconstituídos, três recebem destaque: a pressão, o tempo de prensagem e a temperatura. O gráfico 1 mostra o levantamento de três propriedades da produção de painéis reconstituídos com teores de substituição a madeiras, entre o período de 2010 a 2020.

Gráfico 1 – Propriedades da produção de reconstituídos por autor de 2010 a 2020.



Fonte: O autor, 2021.

São inúmeras as soluções que podem ser desenvolvidas através dos materiais lignocelulósicos reconstituídos, sobretudo aplicáveis às indústrias da construção e moveleira. Para Araujo *et al.* (2019) os resíduos lignocelulósicos apresentam grande potencial econômico para o desenvolvimento de novos produtos, entretanto, ainda

pouco explorado pelas indústrias, mesmo que estes materiais apresentem grande versatilidade e possam ser aplicados como produtos vegetais destinados à produção de móveis e a indústria da construção.

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2014) o setor da construção impulsiona a demanda por painéis de acordo com o cenário econômico. Com isto, o aquecimento do setor imobiliário favorece o consumo de bens duráveis e fomenta os processos de industrialização da madeira para fabricação de produtos.

De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2014) e Macedo (2015), o emprego de painéis reconstituídos na construção está presente em etapas diversificadas do processo construtivo, com uso intenso nas construções, principalmente na etapa de acabamento, montagem de forros e divisórias.

Além do desenvolvimento de materiais reconstituídos, a NBR 14810-1:2002 (Chapas de madeira aglomerada) afirma que a incorporação de materiais especiais no processo de manufatura dos painéis visa a obtenção de propriedades específicas. Desta maneira, na fabricação dos aglomerados é possível fazer inserção de aditivos com propriedades preservantes, retardadores de chama, entre outros relacionados à biodegradabilidade natural da madeira.

Dentre os processos de melhoramento das propriedades do aglomerado, segundo Iwakiri (2005), destacam-se os retardadores de fogo, aplicados no processo de produção ou por impregnação das chapas após prensagem, os repelentes de fungos e insetos, e emulsão de parafina com finalidade de diminuir a higroscopicidade das partículas de madeira. Contudo, o autor ressalta que a inserção de aditivos, em alguns casos, pode levar a diminuição da resistência das chapas coladas com termofixos específicos.

2.2 Adesivos para reconstituição: a alternativa da mamona

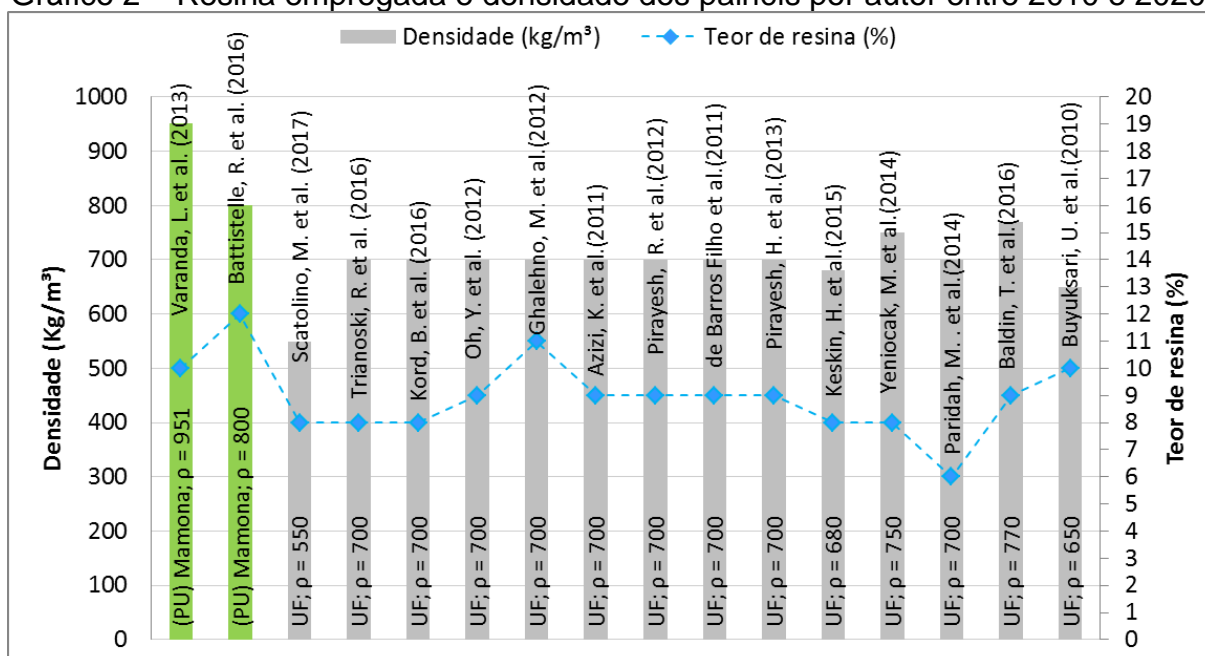
Segundo Iwakiri et al. (2005) o emprego de adesivos surgiu há milhares de anos, com a utilização de argilas, ceras e resinas. O avanço tecnológico do último século permitiu o desenvolvimento de novas soluções aplicáveis às madeiras, como fenol-formaldeído (1929) e mais tarde a uréia-formaldeído (1931), mas a função do

adesivo é a mesma desde a origem, embora a forma de se trabalhar com as resinas tenham mudado.

O adesivo ou resina é um material com propriedades aderentes, ou seja, que tem a função de manter unidos os materiais a serem reconstituídos, podendo ainda ser um termoendurecedor de origem natural ou sintética. O emprego adequado de cada tipo de resina está relacionado à finalidade do produto gerado, pois a composição molecular do material após a cura pode ser afetada devido a presença de agentes externos (IWAKIRI et al., 2005).

Um levantamento realizado nas principais bases de dados para o período de 2010 a 2020 demonstrou a preferência dos autores no emprego da uréia formaldeído (UF). Iwakiri et al. (2005) discute o amplo emprego da UF nas indústrias de madeira em todo o mundo, desde a colagem de madeira sólida, aos compostos laminados e os particulados em geral, devido ao baixo custo para sua aplicação. O gráfico 2 apresenta os dados do levantamento entre os principais trabalhos que produziram painéis com teores de substituição à madeira.

Gráfico 2 – Resina empregada e densidade dos painéis por autor entre 2010 e 2020.



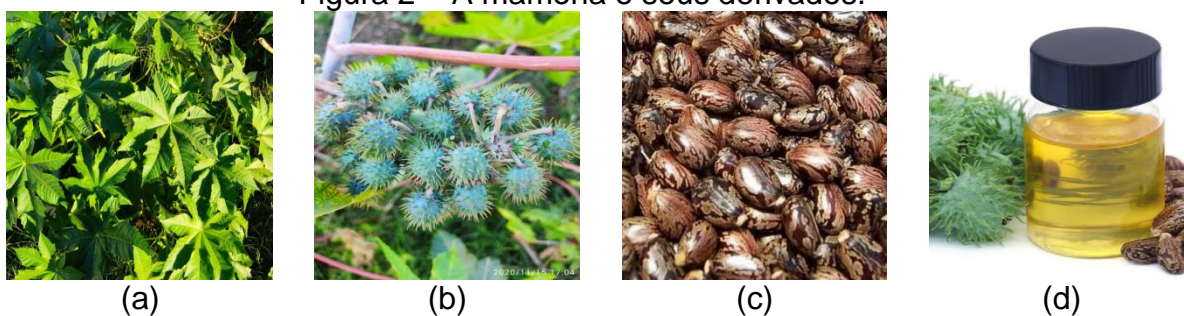
Fonte: O autor, 2021.

Embora grande presença do adesivo UF constatado no levantamento acima, e empregado historicamente para produção de reconstituídos, González-García *et al.*

(2011) demonstram que adesivos sintéticos à base de formaldeído comumente empregados para produção de painéis têm o inconveniente da emissão de gases tóxicos, dificuldade de reciclagem e origem não renovável.

De acordo com Cangemi (2006) uma alternativa às resinas sintéticas é o emprego do adesivo poliuretano à base de mamona, extraído das sementes da espécie *Ricinus communis*. Este tem a vantagem de não emitir substâncias tóxicas, ser um material de origem vegetal e biodegradável. O uso da mamona na produção de adesivos torna-se especial, pois, segundo Cartaxo *et al.*, (2004) a planta se adapta perfeitamente ao semiárido brasileiro, com mais de quinhentos municípios em regiões consideradas ideais para o cultivo da espécie. A Figura 2 mostra em 2(a) a planta mamona, 2(b) os frutos, 2(c) as sementes e 2(d) o óleo para confecção da resina.

Figura 2 – A mamona e seus derivados.



Fonte: O Autor, (2021); Mid-day (2017).

Estudos desenvolvidos por Ferro *et al.* (2019), Machado *et al.* (2017), Sartori *et al.* (2012), Babirato *et al.* (2014), Cravo *et al.* (2015), Santos *et al.* (2013), Blecha *et al.* (2013), Araújo *et al.* (2014) demonstram o potencial no emprego da resina bicomponente à base do óleo da mamona, através de resultados satisfatórios obtidos nestes estudos. Muito embora, os autores supracitados administraram proporções e metodologias distintas à confecção dos painéis.

Outro aspecto relevante ao emprego da resina à base do óleo de mamona diz respeito ao uso desse material, podendo ser utilizado com prensagem à frio, à temperatura ambiente, e também possibilitar o emprego de prensagem à quente para reduzir o tempo de cura neste processo, no entanto, limitado à temperatura no intervalo de 60°C a 115°C. O produto final gerado após a cura da resina à base de mamona é inerte, não emitindo gases tóxicos, não sendo nocivo ao tato e ao olfato humano e é biodegradável após o descarte (KEHL, 2020).

O quadro 1 apresenta as propriedades químicas e físicas, bem como do tempo de reação para resina poliuretana à base de mamona, fornecidas pela KEHL para a proporção 2:1.

Quadro 1 – Propriedades da resina à base de mamona. Proporção 2:1.

Resina poliuretana à base de mamona (proporção 2:1 em massa)	
Material	Polímero bicomponente
Forma	Líquida
Cor	Marrom (componente A), Amarela (componente B)
Densidade	1,2 kg/dm ³ (a 20°C)
Solubilidade em água	Não solúvel
Ponto de Ebulição	94 °C
Cura ao tato	3 a 4 horas ¹ (à frio)
Cura total	24 horas ¹

Nota 1: O tempo descrito refere-se a cura administrada à frio. Em caso de cura à quente, sob temperatura e pressão controladas, os tempos de reação e cura são menores, como sugere laudo fornecido pela KEHL.

Fonte: KEHL (2020).

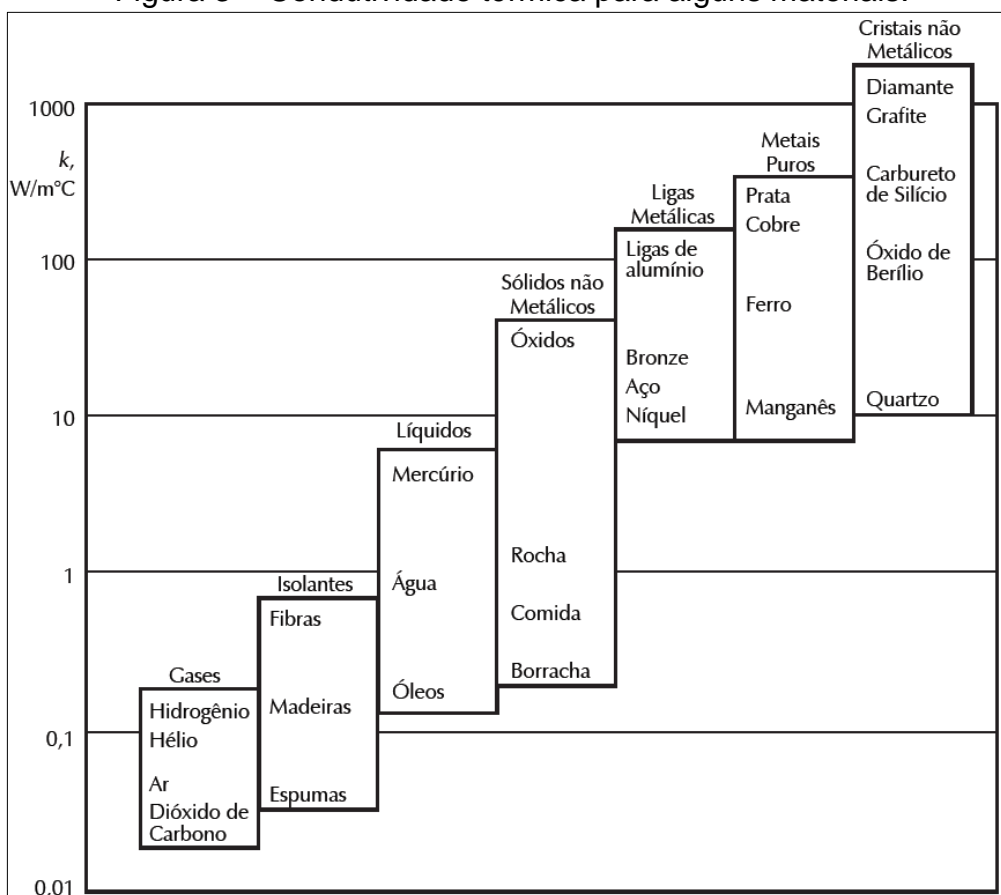
Na bibliografia é possível constatar o emprego de variados materiais aglomerantes na produção de painéis, visto que a NBR 14810-3 (ABNT, 2002) sugere o emprego de tipos de adesivos que mais se adequem à produção dos produtos pretendidos e os usos finais destes. Este aspecto torna-se relevante devido ao consumo de adesivo no processo que, embora varie de 5% a 10%, a depender da matéria-prima utilizada, mantém-se como item de maior custo na produção (IWAKIRI, 2005).

2.3 Condutividade térmica

De acordo com Çengel & Ghajar (2015) a condutividade térmica pode ser definida como “a taxa de calor que é transferida através de uma espessura de um material pela unidade e pela diferença de temperatura”. Ou seja, a condutividade térmica é a capacidade que os materiais têm de conduzir calor. Altos valores de condutividade térmica indicam que o material é um bom condutor, enquanto valores baixos indicam que o material é um mau condutor ou mesmo um isolante.

A Figura 3 mostra o intervalo de condutividade térmica de alguns materiais, dentre eles os materiais gasosos, isolantes, líquidos, sólidos não metálicos, ligas metálicas, metais puros e os cristais não metálicos.

Figura 3 – Condutividade térmica para alguns materiais.



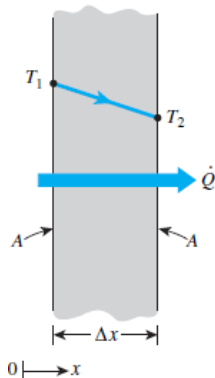
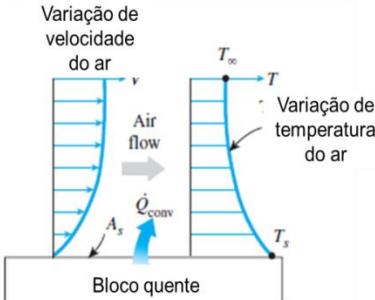
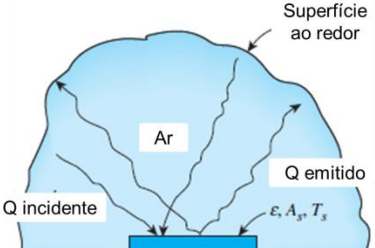
Fonte: Çengel & Ghajar (2015) e Antunes Júnior *et al.* (2016).

Observa-se também na Figura 3 que uma gama de materiais classificados por Çengel & Ghajar (2015) como isolantes variam desde espumas, madeiras até os materiais fibrosos.

Segundo Sias (2006) a condição de boa ou má condutividade de um material está relacionada à composição atômica do elemento empregado. Assim, materiais que são bons isolantes térmicos e elétricos possuem os elétrons mais externos de seus átomos ligados de forma mais firme.

A condutividade térmica é uma propriedade física dos materiais, expressando essa relação através da transferência de calor entre corpos. O processo está relacionado à diferença de temperatura, e somente ocorrerá da fonte quente para a fonte fria (ÇENGEL & GHAJAR, 2015). Os mesmos autores ainda dissertam sobre as três formas que a propagação de calor pode acontecer: 1) condução; 2) convecção; 3) radiação. O Quadro 2 relaciona as propriedades de transmissão de calor.

Quadro 2: Mecanismo de transmissão de calor.

PRÓPRIE- DADE	DEFINIÇÃO	EXEMPLO
Condução	A condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas adjacentes menos energéticas, como um resultado da interação das partículas. A condução pode ocorrer nos sólidos, líquidos ou gases. Nos gases e líquidos, a condução é devido à colisão e difusão das moléculas durante o movimento aleatório; nos sólidos, a condução é devida a combinação da vibração das moléculas em uma rede e o transporte de energia pelos elétrons livres. (Continuidade de matéria).	 <ul style="list-style-type: none"> • Condução de calor através de uma parede plana de espessura Δx e área A.
Convecção	Convecção é uma forma de transferência de energia entre a superfície de um sólido, através de um líquido ou gás adjacente que esteja em movimento, e envolve os efeitos combinados da condução e movimento dos fluidos. Na ausência de um fluido, a transmissão de calor ocorre exclusivamente por condução. A convecção pode ser forçada aumentando a velocidade do fluido sobre a superfície, ou natural induzida pela diferença de densidades em razão da variação de temperatura do fluido. (Correntes de convecção).	 <ul style="list-style-type: none"> • Transferência de calor oriunda de uma superfície quente para o ar, através da convecção.
Radiação	Radiação é a energia emitida pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas (ou fótons), como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas. Diferente da condução e convecção, a transferência de calor por radiação não demanda um meio intermediário, ocorre na velocidade da luz e não sofre efeitos no vácuo. Corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação. Sólidos, líquidos e gases emitem, absorvem ou transmitem radiação para variar os graus. (Ausência de matéria).	 <ul style="list-style-type: none"> • Transferência de calor por radiação entre uma superfície e as superfícies em volta.

Fonte: Adaptado de ÇENGEL & GHAJAR (2015).

Além da descrição sobre as formas de transmissão de calor, condução, convecção e radiação, a compreensão de como o calor se propaga está diretamente relacionado ao nível atômico do material. Analogamente aos fótons para a luz, os fônons são partículas virtuais de transferência de calor através de vibrações atômicas, denominada transporte por fônons. Diferentemente dos fótons que não interagem entre si, os fônons sofrem interações complexas, denominadas de *espalhamento*, interagindo com fônons de outros comprimentos onda, defeitos na estrutura do material e elétrons, o que aumenta a complexidade na previsão e controle do comportamento dos fônons (QING, 2012).

De acordo com Zaferani et al. (2019), geralmente, os fônons são descritos na mecânica quântica como a unidade de energia vibracional que surge da oscilação dos átomos dentro da estrutura cristalina, que pode ter frequências diferentes, e são responsáveis pela transferência de energia térmica. Existem dois tipos de fônons que carregam a energia térmica dentro do sólido, o primeiro é denominado fônons acústico que representa o deslocamento do átomo nas direções paralela, longitudinal ou transversal, já o segundo tipo, os fônons ópticos correspondem ao movimento incoerente de dois átomos na direção oposta.

Fora da escala atômica, a transferência de calor por condução recebe atenção especial através da determinação da condutividade térmica de um material. Na literatura, a condutividade térmica k é definida como a habilidade que um material tem de transferir calor através de uma unidade de espessura, por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura. Um material com alto valor de k é considerado um bom condutor, quanto um material com baixo valor de k é considerado um mau condutor ou um isolante (ÇENGEL & GHAJAR (2015).

Callister J.e Rethwisch (2012), apresentam uma definição simplificada para a condutividade térmica. Segundo os autores a condutividade térmica é mais bem definida em termos de expressão, na qual o fluxo de calor q (ou transporte de calor) por unidade de tempo por unidade de área é o gradiente de temperatura através do meio de condução ou a razão entre a derivada do tempo através do meio $\frac{dT}{dx}$, vezes a condutividade térmica k , que pode ser observada na equação 1.

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{Equação (1)}$$

A Equação 1, simplificada para determinação da condutividade térmica de um material, mostra a dependência do fluxo de calor em relação da condutividade térmica e ao gradiente de temperatura para o transporte de calor em regime estacionário. Portanto, a equação somente tem validade para o transporte de calor estacionário, ou seja, situação que o fluxo de calor não tem variação ao longo do tempo (CALLISTER J. E RETHWISCH, 2012).

Segundo Çengel e Ghajar (2015), nos sólidos a transferência de calor por condução é devido a dois efeitos: as ondas vibracionais pelo movimento das moléculas e a energia transportada através de elétrons livres no sólido. Além disso, os autores citam a interferência do arranjo molecular na propriedade de condutividade térmica, consoante ao afirmado por (QING, 2012). A Equação 2, segundo os autores supracitados, demonstra a relação entre a condutividade térmica (k) de um material de espessura (L) e área (A) conhecidas, quando submetido ao ensaio de determinação da condutividade térmica, com diferença de temperatura ($T_1 - T_2$) entre as faces ensaiadas.

$$k = \frac{L}{A(T_1 - T_2)} Q \quad \text{Equação (2)}$$

A NBR 15 220 Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades (ANBT, 2003), define de forma simplificada a condutividade térmica como o quociente do fluxo de calor pelo gradiente de temperatura de um corpo. A referida norma traz as expressões para determinação do coeficiente de condutividade térmica expresso como λ , conforme a Equações 3.

$$\lambda = \frac{q/A}{\Delta/e} \quad \text{Equação (3)}$$

A NBR 15 220 (ANBT, 2003) explicita ainda a equação para determinação do fluxo de calor q , expressa na Equação 4.

$$q = \frac{\lambda * A}{e} \Delta_T \quad \text{Equação (4)}$$

A definição experimental da condutividade térmica de um material é um aspecto relevante na definição de um produto como bom isolador térmico. De forma análoga, a condutividade térmica em materiais vegetais fibrosos, tais como os resíduos lignocelulósicos, sugere que as propriedades de condução e convecção acima des-

critas tornam o material susceptível ao isolamento térmico devido às trocas gasosas por convecção vagarosas em virtude do aprisionamento de ar dentro das fibras.

Além da condutividade térmica, o calor específico ou a capacidade calorífica é outro fator importante no desempenho de um material isolante. A NBR 15220 (ANBT, 2003) diz, de forma simplificada, que o calor específico ou capacidade térmica específica é o quociente da capacidade térmica pela massa.

Já Çengel e Ghajar (2015) definem calor específico como a energia requerida para aumentar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância em um grau célsius. Segundo os autores supracitados, há um interesse especial em dois tipos de calor específico: calor específico com volume constante e calor específico com pressão constante. Portanto, o calor específico com volume constante pode ser entendido como a energia necessária para aumentar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância em um grau célsius enquanto o volume é mantido constante. Analogamente, a energia necessária para fazer o mesmo, mas mantendo a pressão constante é denominada calor específico com pressão constante. Ademais, o calor específico de uma substância depende de duas propriedades independentes: temperatura e pressão.

O quadro 3 apresenta o calor específico de alguns metais, alguns polímeros e uma média dessa propriedade para a madeira.

Quadro 3: Calor específico de alguns materiais.

NATUREZA	Material	Unidade J/kg °K
Metálica	Alumínio	900
	Cobre	386
	Ouro	128
	Ferro	448
	Prata	235
Polimérica	Polietileno	1850
	Polipropileno	1925
	Poliestireno	1170
	Fenol-formaldeído	1590
Natural	Madeira (U=0%)	1256
	Ar	1004
	Água	4186

Fonte: Adaptado de Callister J. e Rethwisch (2012) e Moreschi (2014).

Segundo Moreschi (2014) a presença de água nas fibras da madeira eleva o calor específico deste material em estado úmido, visto que, o calor específico da água é maior que o calor específico da madeira. Porém, mesmo na condição de umidade a 0% a madeira tem calor específico que a qualifica como adequado para utilização como isolante em situações cotidianas.

2.4 Materiais para isolamento térmico

As propriedades físicas são determinantes na escolha dos materiais empregados nas construções e o desempenho destes materiais, quando submetidos ao estresse térmico, torna-se o diferencial ou mesmo fator o crítico para aplicações como isolantes térmicos ou situações em que a boa resistência à tensão térmica é elementar. Com isso, as características térmicas precisam ser conhecidas para determinação de um material como isolante (SANTOS & FILHO, 2004).

Embora tecnicamente eficientes, os isolantes encontrados no mercado apresentam a desvantagem de serem onerosos aos processos construtivos e, quando descartados, podem ser reativos na natureza (MENDES et al, 2012).

De acordo com Silva (2013) e Da Silva (1996), os isolantes térmicos mais empregados na construção civil são subdivididos em quatro grupos. O 1) isolantes de natureza mineral, 2) isolantes de natureza sintética, 3) isolantes de natureza vegetal e 4) isolantes de natureza animal. A capacidade de condutividade térmica, bem como a densidade dos materiais comumente empregados na construção civil podem ser observados no Quadro 4.

Quadro 4 – Propriedades de condutividade térmica e densidade de alguns materiais isolantes empregados na construção civil.

Natureza do isolante	Material	Condutividade térmica (W/(m.k))	Densidade (kg/m³)
Mineral	Lã de vidro	0,039	13 a 100
	Lã de rocha	0,037	20 a 150
	Vidro Celular	0,035 a 0,048	100 a 165
	Vermiculite	0,06 a 0,08	75 a 130
	Perlite	0,045 a 0,05	90
	Argila expandida	0,103 a 0,108	290 a 700

(Continua)

(Continuação do Quadro 4)

Sintética (Polimérica)	Poliestireno expandido	0,040	10 a 40
	Poliestireno extrudido	0,032	10 a 40
	Poliuretano	0,023	40
Vegetal	Lã de cânhamo	0,039	50
	Lã de madeira	0,039	40 a 55
	Fibra de madeira	0,05	110 a 160
	Lã de coco	0,05	50
	Lã de linho	0,047	30 a 35
	Lã de algodão	0,04	20 a 30
	Cortiça	0,032 a 0,045	60 a 75
	Ouate de celulose	0,038	75 a 100
	Palha	0,045 a 0,07	70 a 120
Animal	Lã de ovelhas	0,03 a 0,045	10 a 20
	Penas de pato	0,033 a 0,042	26 a 34







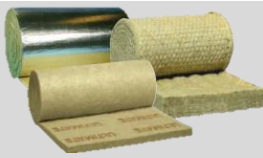


Fonte: Adaptado de Silva (2013) e da Silva (1996).

No quadro 4, pode-se observar uma série de materiais de origem vegetal e animal, comumente empregados pela boa capacidade de isolamento térmico. Contudo, a determinação da condutividade térmica dos materiais, dentre eles, materiais prensados densos, isolantes, granulados e em pó, requer no mínimo a conformação da matéria-prima avaliada. É o caso da ABNT NBR ISO 8894-2 – Materiais refratários - Determinação da condutividade térmica - Método do fio-quente paralelo (2014).

Atualmente no mercado existem produtos voltados ao isolamento térmico de edificações que são produzidos a partir de materiais sintéticos como as lãs de rocha, de vidro e lã de cerâmica. Devido à natureza fibrosa das lãs, estes materiais isolantes podem ser comercializados em configurações distintas, desde mantas maleáveis à painéis leves, rígidos ou semirrígidos.

No Quadro 5 podem ser observados alguns dos tipos de materiais que são comercializados atualmente e a configuração que eles apresentam.

Quadro 5 – Materiais industrializados empregados para isolamento térmico.

Nome	Natureza	Imagem	Matéria prima	Condutivid. (w/mk)	Temp. Aplicável
Painel	Semirrígido		Lã de vidro	50°C = 0,038 e 100°C = 0,043	Aplicável até 450°C.
Feltro	Flexível		Lã de vidro	50°C = 0,038 e 100°C = 0,043	Aplicável até 150°C.
Painel	Rígidos		Lã de rocha	50°C = 0,038 e 100°C = 0,040	Aplicável até 750°C.
Feltro	Rígido		Lã de rocha	50°C = 0,034 e 100°C = 0,039	Aplicável até 750°C.
Manta	Flexível		Lã de vidro	50°C = 0,035 e 100°C = 0,040	Aplicável até 450°C.
TECH LB	Flexível		Lã de vidro branca	50°C = 0,034 e 100°C = 0,037	Aplicável até 550°C.
U TECH	Flexível		Lã mineral	50°C = 0,040 e 100°C = 0,050	Aplicável até 650°C.
Painel	Rígido		Lã de vidro	50°C = 0,040 e 100°C = 0,050	Aplicável até 450°C.
Painel	Flexível		Lã de rocha	50°C = 0,035 e 100°C = 0,050	Aplicável até 600°C.

Fonte: Isover Saint-Gourbain (2021), MADEL (2022) e TT isolantes térmicos (2022).

2.5 Materiais vegetais não convencionais para isolamento térmico

O emprego de materiais isolantes térmicos, oriundos de fontes renováveis, constitui uma questão central ao desenvolvimento de novos produtos, consoante às orientações do MMA (2020), aprimorando as tecnologias já existentes ou mesmo, desenvolvendo novos produtos a partir do emprego de matérias-primas disponíveis localmente, adequando os projetos às demandas locais, como sugere Rocha (2016).

As características da matéria-prima utilizada para o desenvolvimento de um produto tendem a influenciar no desempenho deste. Porém, de forma geral, os materiais isolantes produzidos a partir de materiais celulósicos como a madeira, ou mesmo da reciclagem de papéis, ou ainda resíduos lignocelulósicos oriundos de atividades agroindustriais, apresentam bons resultados, isto devido à baixa capacidade de condutividade térmica que os materiais celulósicos apresentam que variam entre 0,040 W/(m.k) e 0,050 W/(m.k) (JELLE, 2011).

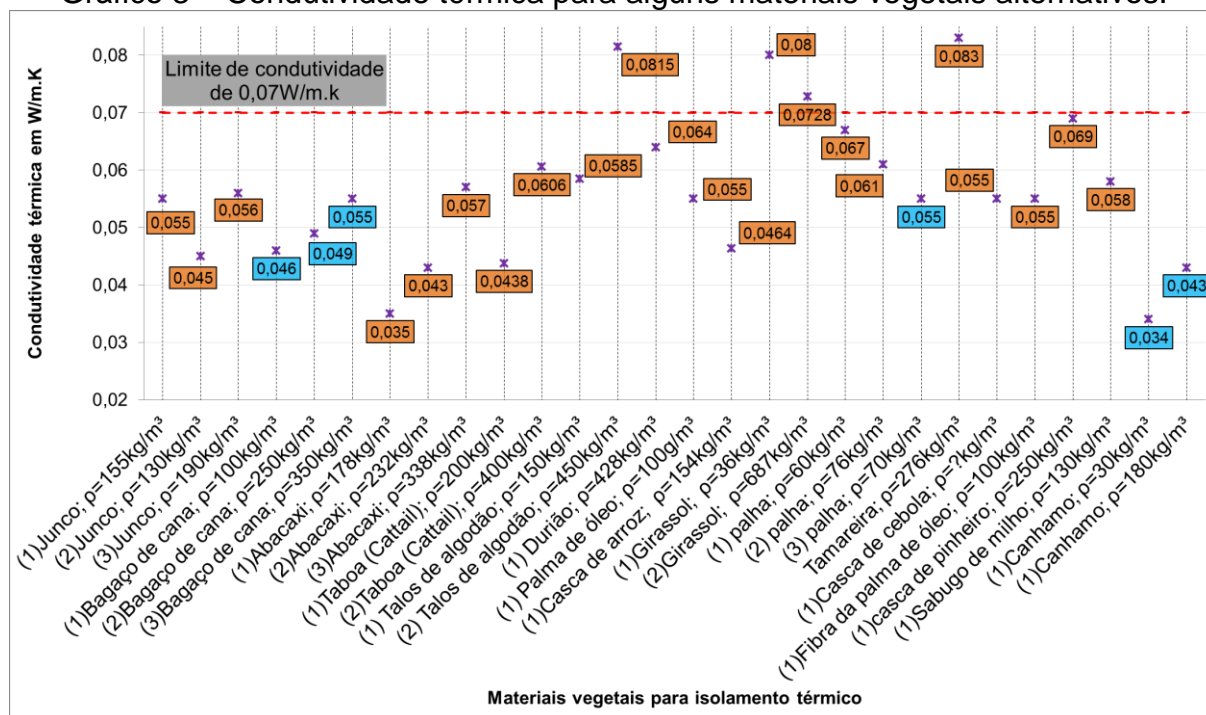
Pesquisas têm demonstrado que para os principais materiais isolantes térmicos com origem vegetal, a condutividade térmica varia no intervalo de 0,039 W/(m.k) a 0,07 W/(m.k) de acordo com Da Silva (1996). Cardoso et al. (2011) classifica como muito isolantes os materiais vegetais cuja condutividade térmica está situada no intervalo de 0,01 W/(m.k) a 0,05 W/(m.k).

Outro aspecto relevante quanto à condutividade térmica de materiais celulósicos, aponta que a taxa de condutividade térmica destes materiais tende a sofrer variações influenciadas pela temperatura, umidade e, em caso de reconstituição, pela densidade dos painéis isolantes. Dessa maneira, em alguns casos, a condutividade térmica de isolantes celulósicos pode variar de 0,040 W/(m.k) para 0,066 W/(m.k) apenas devido à variação de umidade de 0% para 5% (ABU-JDAYIL, 2019). Em um cenário mais amplo, a influência da umidade e temperatura poderia comprometer a eficiência no grau de isolamento térmico destes materiais.

Segundo Wiebeck et al. (2005), Asdrubali et al. (2015) e Spinelli et al. (2018) para que um material isolante térmico seja considerado ideal, a sua condutividade térmica deverá ser menor ou igual a 0,07 W/(m.k). Dessa maneira, alguns materiais vegetais estudados na bibliografia podem ser empregados como soluções para o isolamento térmico, devido a baixa condutividade térmica.

O gráfico 3 apresenta um resumo com os materiais vegetais atualmente pesquisados como alternativas de isolamento térmico, a condutividade térmica desses materiais em W/m.k, e a densidade dos materiais reconstituídos. Os valores pintados em laranja e em azul são nomeados como painel ou placa pelos pesquisadores, respectivamente.

Gráfico 3 – Condutividade térmica para alguns materiais vegetais alternativos.



Fonte: O autor (2021), adaptado de Asdrubali et al. (2015).

A condutividade térmica de um material qualquer pode variar de acordo as condições ensaiadas. Fatores como umidade, densidade, adição de outros materiais, emprego de temperatura no processo de cura e até o método de ensaio podem influenciar na condutividade térmica medida.

O Quadro 6 apresenta uma síntese de materiais vegetais não convencionais empregados para isolamento térmico.

Quadro 6 – Materiais não convencionais estudados para isolamento térmico.

Material	Definição	Solução
Junco	O painel de junco é uma solução isolante térmica empregada na Europa oriental, limitada pela presença da planta e colheita que ocorre no inverno; Formado pelos talos de junco, presos com aço ou nylon e forrado com plástico é usado em coberturas e paredes, internas ou externas; (Asdrubali et al., 2015),	 <p>(Hiss Reet, 2005)</p>
Bagaço da cana	Resíduo da produção de açúcar; rico em celulose que ajuda a reduzir o consumo de ligantes sintéticos na produção do reconstituído; (Asdrubali et al., 2015),	 <p>(Buzo et al., 2019)</p>
Abacaxi	Resíduo em forma de fibras oriundo da folha da planta. Após tratamento e secagem, à PALF é adicionada resina para formação dos painéis; (Asdrubali et al., 2015),	 <p>(Negrão, 2018)</p>
Taboa (Cattail)	Planta considerada daninha a outros cultivos; presente em área úmidas e de difícil controle pelo rápido crescimento (Asdrubali et al., 2015). As folhas da planta têm um suporte fibroso reforçado que é preenchido com tecido esponjoso, o que dá ao material bom desempenho isolante (Fraunhofer, 2013).	 <p>(Fraunhofer, 2013).</p>
Algodão (Talos)	O algodão é uma das fibras mais importantes e mais cultivadas no mundo (Dahake e Patil, 2017); Os talos são resíduos restantes do cultivo da planta do algodão e são estudadas em (Zhou et al., 2010) pela também presença de fibras nos talos;	 <p>(Dahake e Patil, 2017)</p>


Continua.

Continuação do Quadro 5.

Durião	<p>O durião é uma fruta bem distribuída no sudeste asiático; com uma produção excedente de 300 mil toneladas, os resíduos da planta se tornaram objeto de estudo por Khedari et al. (2003).</p>	 <p>Charoenvai et al. (2003)</p>
Palma de óleo (dendê)	<p>Espécie amplamente explorada na África, Ásia e América do Sul, com mais de 11 milhões de hectares destinadas ao cultivo; produção de fibras para reconstituídos provém dos cachos dos frutos da planta (Asdrubali et al., 2015).</p>	 <p>(Asdrubali et al., 2015)</p>
Casca de arroz	<p>Os resíduos de imensa produção mundial de arroz são empregados como reconstituídos com uso de aglomerante como em Yarbrough et al. (2005) ou mesmo aden-sados como preenchimento sem resina como ensaiado por Navroski et al. (2010).</p>	 <p>(Yarbrough et al., 2005)</p>
Girassol	<p>Planta muito explorada pela produção de óleo nas sementes (Asdrubali et al., 2015).; os resíduos como talos e casca são reconstituídos com resinas e foram estudados em Binici et al. (2014).</p>	 <p>Binici et al. (2014).</p>
Palha	<p>A palha pode ser considerada qualquer resíduo da produção de cereais, detém baixo custo e é profuso em muitos locais; A palha mais comum é do resíduo do trigo e é também o material mais explorado como solução isolante nas edificações (Asdrubali et al., 2015).</p>	 <p>(Dance e Herwin, 2013)</p>

Continua.

Finalização do Quadro 5.

Sabugo	<p>O sabugo é um resíduo da exploração do milho; empregado com ligante sintético para formação de painéis particulados teve a condutividade térmica estimada por Pinto et al., (2012).</p>	 <p>(Paiva et al., 2012)</p>
---------------	--	---

Fonte: O autor.

Em conformidade com Abu-Jdayil (2019), a redução dos custos com o emprego de materiais termo isolantes pode ser alcançada através do uso de materiais naturais e/ou resíduos como parte principal de uma matriz que, além disso, pode contribuir também na redução da emissão de dióxido de carbono. Este aspecto reforça a busca por soluções adequadas às necessidades dos projetos modernos, como discutido por Rocha (2016) e afirmado pelo MMA (2020) no capítulo anterior.

Além do emprego de resíduos vegetais para o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas às construções fomentarem produtos menos danosos ao meio ambiente, o uso de materiais lignocelulósicos alternativos pode ainda tornar o saldo positivo na balança de emissão de dióxido de carbono, através do aprisionamento do CO₂ da atmosfera, favorecendo o emprego destes resíduos antes rejeitados (SILVA, 2018). Assim, produtos gerados e destinados a suprir demandas locais, e que fazem uso de processos que exijam pouco consumo energético, poderiam ser considerados materiais de emissão neutra (de CO₂), não liberando carbono durante a vida útil.

2.6 O *Agave sisalana*

O *Agave sisalana*, popularmente conhecido como sisal, é uma espécie não nativa do Brasil com origem incerta entre os pesquisadores levantados na bibliografia. Sabe-se, no entanto, que a planta tem limiar na América do Norte, região onde atualmente está localizado o México. Alguns estudos denotam de forma errônea a cidade de Yucatan como local de origem da espécie, devido ao porto marítimo utilizado para o escoamento dos bulbilhos do sisal, contudo, pesquisadores botânicos não evidenciaram nenhuma relação entre Yucatan e a produção do *Agave* (GENTRY, 1982 e NOBEL, 1988. apud. BROWN, 2002).

No Brasil, as primeiras plantas do sisal foram introduzidas em uma fazenda do Recôncavo da Bahia, conquanto, a espécie não se adequou de forma plena à região, devido às elevadas taxas pluviométricas. Somente em 1910, as primeiras mudas chegaram a atual região sisaleira (PINTO, 1969). Santos e Silva (2017) relatam que, apenas em 1919, a plantação do *Agave sisalana* passa a ser incentivada e difundida pelo Nordeste, tornando-se base da economia de um conjunto de municípios do semiárido.

Segundo IBGE (2019), o ano de 2018 registrou uma produção de mais 80 mil toneladas de fibras, sendo que cerca de 70% da produção anual foi destinada à exportação (CONAB, 2018). A parte remanescente, de acordo com Santos e Silva (2017) e Martins (2009) é destinada a produção de fios, cordas, tapetes, estofamento, sacos e bolsas, tendo como área principal de beneficiamento as cidades de Conceição do Coité e Valente, na Bahia.

De acordo com Silva et al. (2008), as plantas do sisal têm faixa de produtividade entre 10 a 12 anos, e o baixo consumo de recursos para o crescimento faz com que espécie seja explorada em regiões historicamente marcadas pelas secas, com baixo índice pluviométrico e solos com relativo grau de erosão.

Ao longo da cidade de Conceição do Coité, é muito comum observar a presença de fazendas de cultivo do *Agave sisalana*. A espécie adaptou-se muito bem ao clima local, e por ter boa resistência às secas do semiárido, foi facilmente difundida pelos sertanejos da região, como uma alternativa econômica. Mesmo durante os períodos de estiagem a planta continua a ser produtiva, o que a apontou como solução econômica por várias décadas frente às crises devido às secas, fato que levou a espécie ser conhecida pelo termo “ouro verde do sertão” (COSTA, 2019a). A Figura 5 mostra exemplares da espécie do sisal, apresentando a inflorescência, conhecida popularmente na região sisaleira da Bahia como flecha de sisal.

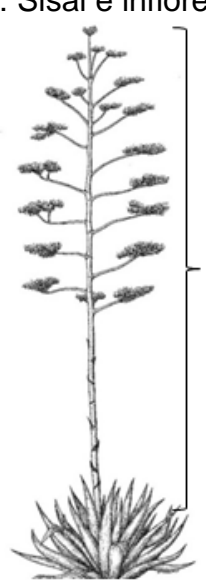
Figura 4: Cultivo de sisal.



Fonte: Watanabe (2017).

No Quadro 7 é possível observar na figura 5 a morfologia do sisal, evidenciando o escapo floral da espécie (flecha), bem como a sua produção:

Quadro 7: Morfologia do sisal.

<p>Figura 5: Sisal e inflorescência.</p> 	<p>As raízes são formadas por um sistema fibroso composto de inúmeros canalículos que fazem a sustentação no contato planta/solo.</p> <hr/> <p>O tronco é um caule aéreo de altura e diâmetro médios de 1,20 m e 20 cm respectivamente.</p> <hr/> <p>As folhas carnosas, de grande exploração nas áreas sisaleiras, têm comprimentos entre 1,20 m e 1,60 m, e largura entre 10 a 15 cm.</p> <hr/> <p>A flecha é apresentada ao final do ciclo vegetativo do sisal, com ápice entre 6 a 8 m de altura, podendo crescer de 10 a 12 cm por dia e diâmetro variando com maior largura na base e diminuindo sensivelmente ao longo do eixo longitudinal.</p> <hr/> <p>As flores são apresentadas logo após a consolidação da haste floral, que em seguida libera os bulbilhos.</p>
--	---

Fonte: Adaptado de Santos & Silva (2017) e BIOWOOHOO (2014).

Na cidade de Conceição do Coité, na Bahia, está localizada a maior empresa de beneficiamento e exportação das fibras do sisal no Brasil, o grupo Hamilton Rios (HR) com uma produção estimada em 20 mil toneladas de fibras anualmente. Esta empresa é responsável por exportar o produto para países como China, Estados Unidos, Emirados Árabes Unidos e entre outros. Dentre os principais produtos produzidos estão itens de cordoaria, fios, tapetes e carpetes, telas e geotêxteis e mantas.

Na Figura 6 observam-se os principais produtos produzidos pelo Grupo Hamilton Rios na cidade de Conceição do Coité. Em 6(a) observa-se os fardos de sisal para exportação, em 6(b) observam-se itens de cordoaria, em 6(c) telas e geotêxteis e em 6(d) são observadas as mantas.

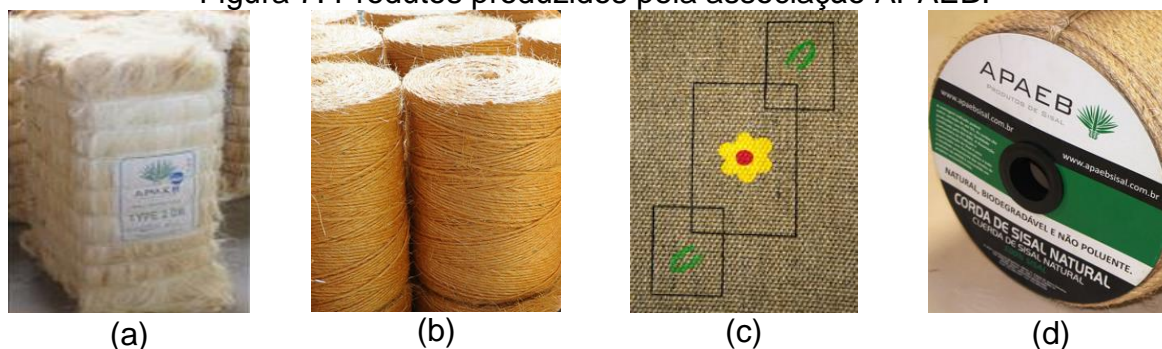
Figura 6: Principais produtos produzidos pelo grupo HR.



Fonte: Grupo Hamilton Rios (2019).

A Figura 7 mostra alguns dos subprodutos que são desenvolvidos através da Associação de Desenvolvimento Sustentável e Solidário da Região Sisaleira da Bahia (APAEB) situada em Valente, todos eles a partir da exploração da fibra do sisal. Da esquerda para direita observa-se em 7(a) fardo de fibras do sisal para exportação; em 7(b) os fios de sisal; em 7(c) uma peça de tapeçaria; e em 7(d) um rolo de cordas com a logo da associação.

Figura 7: Produtos produzidos pela associação APAEB.

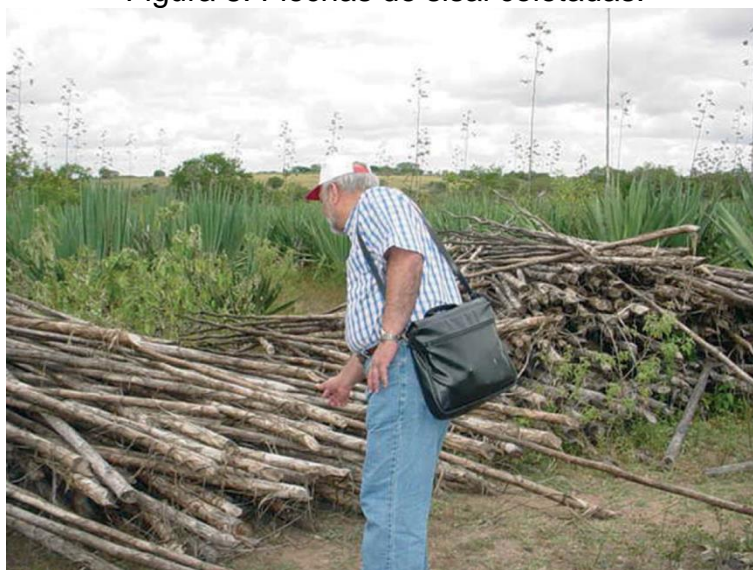


Fonte: APAEB (2014).

2.7 A flecha do sisal e o semiárido

De acordo com Alves *et al.* (2005) o sisal é uma espécie monocárpica, florescendo apenas uma vez durante a vida, deixando crescer o que os agricultores denominam como flecha. Após a floração a flecha é coletada, e em alguns casos é descartada ou armazenada, conforme a Figura 8.

Figura 8: Flechas de sisal coletadas.



Fonte: ALVES *et al.* (2005).

Segundo Costa *et al.* (2019a), com a presença do sisal no semiárido, a flecha foi empregada em muitos processos construtivos, desde a sua inserção por volta de 1910, como na construção de casas de taipa de mão, compondo as tramas que formavam a estrutura das casas feitas com barro. A partir dessa trama composta de flechas era possível construir cômodos e divisórias, em contato direto com o solo e o ambiente externo, o que gerava o inconveniente da reposição do material após o período de chuvas. As flechas ainda hoje são usadas como substitutas às madeiras

para construção de casas no meio rural, formando o “esqueleto” da construção, conforme a Figura 9, em 9(a) observa-se um modelo com a composição da trama com as flechas de sisal, e em 9(b) o cultivo de sisal próximo à uma casa de taipa, no semiárido baiano.

Figura 9: Trama de flecha de sisal e plantação casa de taipa.



Fonte: Casa Abril (2013) e Natureza Brasileira (2020).

Segundo o Centro Nordestino de Informações Sobre Plantas (CNIP) o uso da flecha de sisal também foi observado na fabricação de cercas, construção de jangadas e talas usadas para imobilização de membros acidentados. Em algumas áreas da região sisaleira é possível observar também o emprego das flechas na construção de telhados das casas de taipas.

Mais recentemente, na região do semiárido baiano, em Conceição do Coité, a flecha do foi empregada como matéria prima no desenvolvimento de instrumentos musicais, através da Orquestra Santo Antônio (OSA). A Orquestra Sisaleira é uma extensão da OSA e é composta por instrumentos musicais feitos da flecha do sisal. Na Figura 10 podem ser observados os instrumentos musicais feitos da flecha.

Figura 10: Instrumentos musicais feitos da flecha do sisal pela Orquestra Sisaleira.



Fonte: Robson Di Almeida (2019) e Som do Sisal (2019).

A flecha do sisal é relacionada na literatura sob diferentes nomes. Esta divergência na nomenclatura relaciona-se a regionalização dos termos e aos aspectos diretos dos trabalhos publicados em áreas distintas, conforme o Quadro 8.

Quadro 8: Nomes encontrados na bibliografia para a flecha do sisal.

Termo	Autor
Flecha do sisal	Costa <i>et al.</i> (2019a); Costa <i>et al.</i> (2019b); Alves(2005)
Escapo floral	Silva <i>et al.</i> (2008);Gondim <i>et al.</i> (2009)
Inflorescência ou eflorescência	Silva <i>et al.</i> (2008); Pinto (1969); Gondim <i>et al.</i> (2009)
Bloom stalk	Brown, k. (2002)
Pedúnculo	Silva <i>et al.</i> (2008);Gondim <i>et al.</i> (2009)
Haste floral	Miranda (2011); Pinto (1969)

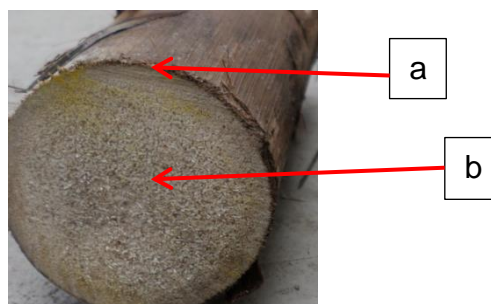
Fonte: O autor.

A flecha do sisal, popularmente conhecida como flecha, cresce a partir do tronco do *Agave sisalana*, ao final do ciclo vegetativo da espécie, podendo atingir comprimentos de 6 a 8 m de altura e crescer de 10 a 12 cm por dia (DA SILVA *et al.*, 2008). Segundo Costa *et al.* (2019b) é comum observar na região semiárida que o comprimento da flecha varia de 3 a 6 m de altura, como o exemplo da Figura 11(a). Alguns fatores tais como seleção genética de plantas mais produtivas de fibras e condição climática podem estar associadas à redução da altura do escapo floral.

Figura 11(a): Flecha de sisal com 4,20 m de comprimento.



Figura 11(b): Flecha do sisal seccionada transversalmente.



Fonte: O autor.

Ainda na Figura 10, pode-se observar em análise macroscópica que a flecha do sisal é composta por duas partes principais, a região da casca e o miolo. A casca apresenta maior resistência, conforme Costa *et al.* (2019b), enquanto o miolo, região

interna da flecha, bastante porosa, apresenta potencialidade no desenvolvimento de um material com capacidade isolante. A Figura 10(b) exibe uma seção transversal ao longo da flecha do sisal, na qual é possível observar a casca em (a) e o miolo em (b).

Estudos realizados por Costa *et al.*, (2019b) demonstram a potencialidade do emprego da flecha e o desempenho satisfatório na relação resistência/densidade comparado com materiais como concreto e aço, sinalizando o desempenho aliado à origem vegetal e renovável do material com possibilidade de aplicação na construção civil.

Em uma breve investigação de caráter exploratório acerca da flecha do sisal realizada no Laboratório de Madeiras da Universidade Federal da Bahia, verificou-se que a região interna da flecha (o miolo) sofreu pouca variação térmica, quando submetida à estufa com temperatura de 100°C, mesmo após longo período de secagem das amostras, superior a 12 horas. Ao contrário da parte interna, tão logo iniciado o ensaio, observou-se aumento de temperatura na casca da flecha. O estudo foi realizado para investigar a capacidade resistente da flecha do sisal e a caracterização física. Porém, com os ensaios do material em estufa foi possível observar a pouca variação de temperatura, o que sugeriu a possibilidade da flecha como alternativa na produção de um material isolante.

2.8 Viabilidade da flecha do sisal e resina à base de mamona

Por ser um material de demasiada profusão nas áreas sisaleiras o estudo da flecha para produção dos painéis torna-se viável na busca por um processo ou solução tecnológica que atenda às demandas térmicas vigentes. Tal processo respalda-se nos estudos de Guimarães Junior (2011) e Bufalino (2010), unindo a potencialidade dos materiais lignocelulósicos de serem convertidos em materiais reconstituídos, bem como o fomento da solução em forma de isolante térmico destinado às edificações do semiárido em contrapartida a ausência de soluções oriundas do território sisaleiro, e a escassez de recursos madeireiros que possam ser aplicados para tal processo.

O estudo bibliométrico realizado nas principais bases de dados nacionais e internacionais verificou que na bibliografia é possível constatar o emprego de diversificados materiais lignocelulósicos aplicáveis à produção de painéis aglomerados, o

que sugere a possibilidade ao emprego da flecha para mesma finalidade. Embora, parte das soluções desenvolvidas não tenham finalidade de isolamento térmico.

O quadro 9 apresenta um resumo dos trabalhos que incentivaram o desenvolvimento desta pesquisa, bem como, demonstra a grande variabilidade em matérias-primas empregadas no desenvolvimento de painéis.

Quadro 9: Painéis com materiais alternativos.

Autor	ANO	MATERIAL	RESINA
Ferro et al.	2019	pinus (taeda)	poliuretana à base de mamona
Sartori et al.	2012a	bagaço de cana-de-açúcar	poliuretana à base de mamona
Baldin et al.	2016	madeireiro e capim-annoni	uréia-formaldeído, tanino-formaldeído
Barbirato et al.	2014	casca de amendoim	poliuretana à base de mamona bicomponente e ureia-formaldeído
Cravo et al.	2015	casca de amendoim e fibra da casca do coco verde	poliuretana à base de mamona
Santos et al.	2013	madeira tauri	poliuretana à base de mamona
Lacombe, E.	2015	serragem residual (pinus, eucalipto, peroba, teca)	EPS dissolvido com solvente
Araújo, I. I.	2014	resíduo de bambu e casca de café	poliuretana à base de mamona
Sartori et al.	2012b	bagaço de cana-de-açúcar	poliuretana à base de mamona
Martins et al.	2014	Cecropia pachystachya, Pinus oocarpa	uréia-formaldeído
Macedo et al.	2015	Pinus sp, Eucalyptus sp	poliuretana à base de mamona
Guler et al.	2007	casca de amendoim e pinus	uréia-formaldeído
Taha et al.	2018	talos de tomate	uréia-formaldeído
Machado et al.	2017	coco babaçu	poliuretana à base de mamona
Melo et al.	2009	casca de arroz e resíduo de madeira	ureia-formaldeído, tanino-formaldeído
Calegari et al.	2004	aparas de papel, madeira de pinus	tanino-formaldeído
Kalaycioglu h. & Nemli Gökyay.	2006	talos de kenaf	uréia-formaldeído
Peter Klímek et al.	2016	talos de girassol, talos de topinambour	Methylene diphenyl diisocyanate and urea formaldehyde
Petr Klímek et al.	2018	talos de miscantus	methylene diphenyl diisocyanate
ACDA, M. N. CA-BANGON, R	2013	talos de tabaco e madeira	uréia-formaldeído
Guntekin, E. Karakus, B.	2008	talos de berinjala	uréia-formaldeído

Continua.

Continuação do Quadro 9.

Khazaeiana, A. et al.	2015	talos de sorgun	uréia-formaldeído
Nadhari, W. et al.	2019	tronco de bananeira	Livre de adesivo ou resina
Mesquita et al.	2018	resíduos de açaí	poliuretana à base de mamona
Mahieua, A., et al.	2019	talos de linho e girassol	uréia-formaldeído
A. Wechsler et al.	2013	casca de nozes e macadâmia	óleo de mamona e uréia-formaldeído

Fonte: O autor.

A bibliometria realizada permitiu levantar uma grande quantidade de materiais lignocelulósicos utilizados nas pesquisas atuais para o desenvolvimento de reconstituídos para diversas finalidades. Isto corrobora com a afirmação de Baldin et al., (2016) sobre a possibilidade do emprego de qualquer material lignocelulósico para o desenvolvimento de painéis reconstituídos. A bibliometria também permitiu levantar os trabalhos que usaram a resina poliuretana à base de mamona, e também qual foi o teor de resina adicionado nas matérias-primas para confecção de reconstituídos. O Quadro 10 resume os trabalhos encontrados através da bibliometria que fizeram uso da resina poliuretana e os teores de adição que foram adotados.

Quadro 10: Teores de resina de mamona encontrados na bibliografia.

Autor	ANO	MATERIAL	TEOR DE RESINA (%)
Ferro et al.	2019	pinus (taeda)	12
Machado et al.	2017	coco babaçu	12
Macedo et al.	2015	Pinus sp, Eucalyptus sp	12
Cravo et al.	2015	casca de amendoim e fibra da casca coco verde	15
Araújo, I. I.	2014	Resíduo de bambu e casca de café	12
Barbirato et al.	2014	casca de amendoim	15
Santos et al.	2013	madeira tauri	16
A. Wechsler et al.	2013	casca de nozes e macadâmia	20
Sartori et al.	2012	bagaço de cana-de-açúcar	15
Sartori et al.	2012	bagaço de cana-de-açúcar	15

Fonte: O autor.

Observa-se que os trabalhos de Ferro *et al.* (2019), Machado *et al.* (2017), Macedo *et al.* (2015) e Araújo I. I. (2014) adotaram o teor de 12%, enquanto Cravo *et al.* (2015), Barbirato *et al.* (2014), Sartori *et al.* (2012) utilizaram 15% de resina. Já Santos *et al.* (2013) e Wechsler *et al.* (2013) adotaram teores de 16% e 20% respectivamente. Iwakiri *et al.* (2005) mostra que o teor de resina pode variar conforme o tipo de matéria-prima utilizada, sendo mais comum teores entre 8% e 12%.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são abordados os materiais e os procedimentos adotados para o desenvolvimento do estudo. A Figura 12 mostra o fluxograma das etapas adotadas na metodologia. Em amarelo destaca-se a caracterização do miolo da flecha de sisal; em verde o processo de reconstituição do material; e em rosa a caracterização do material reconstituído.

Figura 12: Fluxograma da metodologia.



Fonte: O autor, 2021.

Como visto na figura 12, a pesquisa foi dividida em 3 etapas que serão melhor detalhadas a seguir:

Etapa 1 – Caracterização do miolo da flecha: Após a coleta das flechas de sisal, amostras do lote B foram escolhidas randomicamente, para caracterização física, química, microestrutural e da degradação térmica do miolo da flecha.

A caracterização física do miolo seguiu a NBR 7190 – Projeto de Estrutura de Madeira (ABNT, 2997), que também serviu de parâmetro para determinação do inchamento e da absorção; A determinação e análise das propriedades químicas seguiram a TAPPI UM 250, TAPPI T222 om-02 e TAPPI T211 om-93; A microestrutura foi analisada com auxílio de MEV, modelo JSM-6390LV; E, a degradação térmica do miolo da flecha e também da resina foram realizadas através da ASTM E 1131 (ASTM, 2008).

Etapa 2 – Produção do reconstituído: Nesta etapa, o lote de flechas A foi destinado à produção do material reconstituído, a partir da tritura do miolo das flechas de sisal. A metodologia adotada nesta etapa consistiu na aplicação dos requisitos da NBR 14 810 – 1 a 3 - Chapas de madeira aglomerada (ABNT, 2002), como também a sequência para produção de painéis reconstituídos descrita por Iwakiri et al. (2005), além da tese de doutorado de Lacombe (2015), e dissertações de Melo (2009) e Sartori (2012).

Etapa 3 – Caracterização do material reconstituído: Esta etapa consistiu na caracterização do material reconstituído, desenvolvido na *Etapa 2*. Foram estudadas as propriedades físicas (umidade, densidade, inchamento e absorção) e mecânicas conforme as diretrizes da NBR 14 810-3:2002; também foram determinadas a condutividade térmica do painel pelo método da placa quente protegida através da NBR 15220 (ABNT, 2005), e a capacidade isolante por uso do método do calorímetro; E por fim, esta etapa também contemplou a análise da degradação biológica por ataque da térmita de solo *Nasutitermes corniger* e a degradação por chama através da UL 94 (Underwriters Laboratories Inc.,1998) para queima vertical (V) e horizontal (H).

3.1 Materiais

3.1.1 Flecha de sisal

As flechas de sisal que foram utilizadas no desenvolvimento deste estudo são provenientes de fazenda de cultivo do *Agave sisalana*, especificamente na comunidade do Balaio, zona rural da cidade de Conceição do Coité, município brasileiro, distante 210 km da capital baiana, Salvador.

As flechas foram coletadas de forma randômica, em estado de secura à condição ambiente, após a morte da planta, e, em seguida, foram levadas para tratamento inicial (leia-se limpeza superficial). O material coletado foi dividido em dois lotes, A e B; o lote A foi destinado ao processo de manufatura dos corpos-de-prova (CP) do material reconstituído e o lote B destinado à caracterização do miolo da flecha. A Figura 13 mostra as flechas de sisal que foram coletadas para o desenvolvimento deste estudo.

Figura 13: Flechas coletadas para o desenvolvimento deste estudo.



Fonte: O Autor.

3.1.2 Resina poliuretana à base de mamona

A resina empregada neste estudo foi o adesivo termofixo à base de mamona, produzido pela KEHL. Composta por duas partes A e B; o composto A é o isocianato e B um produto à base de óleos vegetais, dentre eles o óleo da mamona.

A escolha da resina está associada ao bom desempenho nos resultados levantados na bibliografia, bem como o fato de a resina poliuretana à base de mamona possibilitar que seu emprego proceda em aplicações em que a cura ocorre em temperatura ambiente, à frio.

Após a cura da resina, o produto gerado não é reativo, não emite gases tóxicos durante a queima e pode ser descartado devido ao fato de ser biodegradável (KEHL, 2020). A resina adquirida pode ser vista na Figura 14: na esquerda, o líquido escuro à base de óleo de mamona, e à direita o isocianato.

Figura 14: Resina poliuretana à base de mamona.



Fonte: O Autor.

3.1.3 Equipamentos

Neste tópico estão descritos os equipamentos que foram empregados para o desenvolvimento deste estudo. O Quadro 11 descreve além dos equipamentos, o tipo de ensaio e o local de realização dos mesmos.

No Quadro 11 estão listados os equipamentos para ensaios no reconstituído isolante e na matéria prima. No Quadro 11 estão os equipamentos para ensaios físicos no painel isolante e na flecha de sisal *in natura*.

Quadro 11: Equipamentos utilizados nos ensaios físicos na matéria-prima e no painel.

Ensaio	Equipamentos	Local
Ensaio físico no miolo da flecha e no painel.	Em 15(a) a estufa digital, em 15(b) a bandeja para secagem, em 15(c) a balança digital, 15(d) paquímetro digital e 15e recipiente para imersão dos corpos-de-prova;	Laboratório de Madeiras da UFBA - LAB-MAD.
<p>Figura 15: Equipamentos para determinação das propriedades físicas do miolo da flecha e dos corpos-de-prova reconstituídos.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(c)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(d)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(e)</p> </div> </div>		

Fonte: O Autor.

Já no Quadro 12 estão listados os equipamentos para análise da composição química que foi realizada no miolo da flecha de sisal *in natura*.


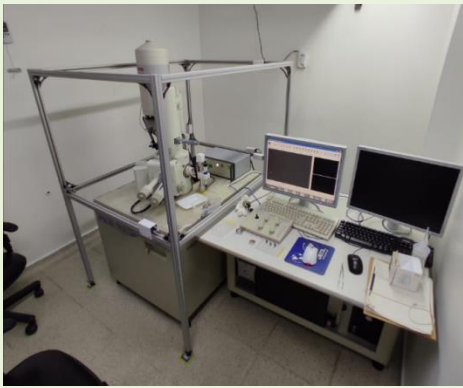
Quadro 12: Equipamentos utilizados para análise da composição química do miolo da flecha de sisal.

Ensaio	Equipamentos	Local
Análise da composição química.	Em 16(a) liquidificador Cuisinart 650BR e 16(b) peneira abertura 60 MESH.	LABMA – UFBA e Laboratório de Papel e Celulose do – UFV.
<p>Figura 16: Equipamentos para trituração e seleção do material para posterior análise química do miolo da flecha de sisal.</p> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> </div>		

Fonte: O Autor.

No quadro 13 estão listados os equipamentos utilizados para análise microscópica no miolo da flecha de sisal.

Quadro 13: Equipamentos utilizados para análise microscópica no miolo da flecha de sisal.

Ensaio	Equipamentos	Local
Equipamentos para análise microscópica no miolo da flecha.	Em 17(a) Denton Vacuum – DESK IV, para metalização das amostras e 17(b) MEV.	Instituto Gonçalo Muniz; Fundação Osvaldo Cruz (FIO-CRUZ/BA).
<p>Figura 17: Equipamentos para análise da microestrutura do miolo da flecha.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> </div>		

Fonte: O Autor.

No Quadro 14 estão listados os equipamentos empregados para análise termogravimétrica do miolo da flecha de sisal.

Quadro 14: Equipamentos utilizados para análise termogravimétrica na matéria prima.

Ensaio	Equipamentos	Local
Equipamentos para análise térmica no miolo.	Em 18(a) a balança Sartorius modelo MSU225P e 18(b) o aparelho de análise simultânea STA 409 NETZSCH.	EZAT (Análises térmica).
<p>Figura 18: Equipamentos para análise térmica no miolo e na resina.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> </div>		

Fonte: O Autor.

No quadro 15 estão descritos os equipamentos adotados para a manufatura do painel isolante reconstituído.

Quadro 15: Equipamentos utilizados para manufatura do isolante reconstituído.

Ensaio	Equipamentos	Local
Equipamentos para manufatura dos painéis	Em 19(a) serra circular, em 19(b) triturador moedor, em 19(c) agitador de peneiras, em 19(d) balança determinadora de umidade, 19(e) bandeja, 19(f) forma para confecção dos painéis, 19(g) prensa hidráulica e 19(h) estufa e bandejas.	Laboratório de Madeiras da UFBA - LAB-MAD.


Figura 19: Equipamentos para confecção dos corpos-de-prova reconstituídos.



Fonte: O Autor.

No quadro 16 constam a descrição dos equipamentos para os ensaios mecânicos no painel reconstituído.


Quadro 16: Equipamentos utilizados para ensaios mecânicos no painel.

Ensaio	Equipamentos	Local
Equipamentos para ensaios mecânicos no painel.	Em 20(a) Máquina Universal de ensaios EMIC 23 – 10 100 kN.	Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM - UFBA).
<p>Figura 20: Prensa universal para ensaios mecânicos no material reconstituído.</p>  <p>(a)</p>		

Fonte: O Autor.

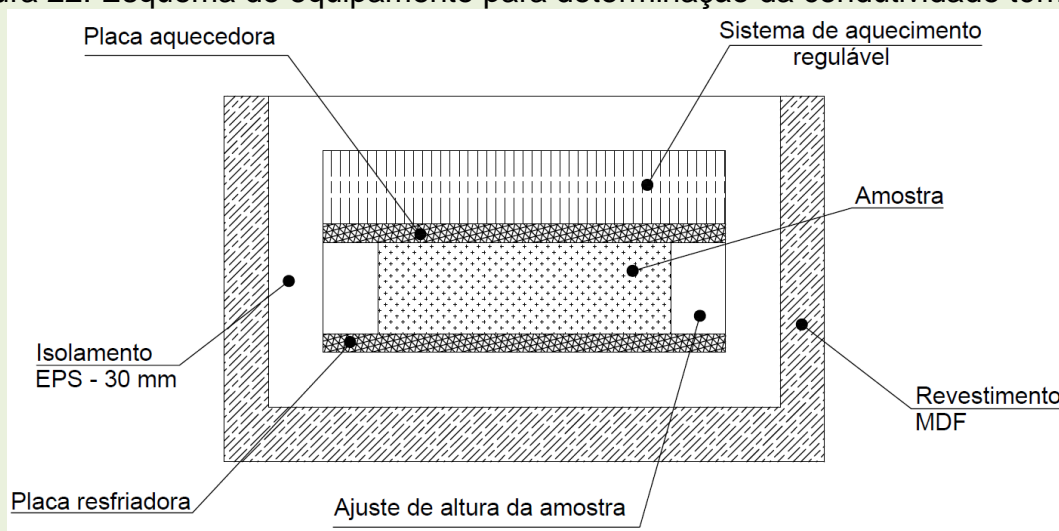
No quadro 17 estão listados os equipamentos adotados para determinação da condutividade térmica.

Quadro 17: Equipamentos utilizados para ensaios determinação da condutividade térmica no painel isolante.

Ensaio	Equipamentos	Local
Equipamento para determinação da condutividade térmica.	Em 21(a) equipamento para ensaio de condutividade térmica, em 21(b) o termômetro modelo ICEL TD-870, 21(c) o computador e 21(d) o termostato digital.	Laboratório de Madeiras da UFBA - LAB-MAD.
<p>Figura 21: Equipamentos para determinação da condutividade térmica.</p>  <p>(a) (b) (c) (d)</p> <p>A figura 22 mostra um esquema para o equipamento desenvolvido.</p> <p>(Continua)</p>		

(Continuação do Quadro 17)

Figura 22: Esquema do equipamento para determinação da condutividade térmica.



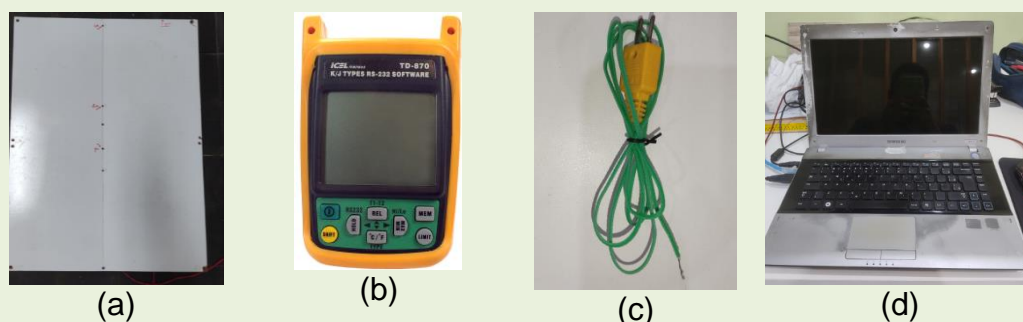
Fonte: O Autor.

No quadro 18 estão listados os materiais empregados para determinação da capacidade de isolamento térmico no material reconstituído.

Quadro 18: Equipamentos utilizados para determinação do isolamento térmico.

Ensaio	Equipamentos	Local
Equipamento para determinação do isolamento térmico	Em 23(a) o calorímetro em MDF de 15 mm e revestido com EPS 50 mm, 23(b) o termômetro ICEL modelo TD-870, 23(c) termopar tipo K e 23(d) o computador.	Laboratório de Madeiras da UFBA - LAB-MAD.

Figura 23: Equipamentos para ensaio de isolamento térmico.




Fonte: O Autor.

Já no quadro 19 estão descritos os materiais que foram utilizados para o ensaio de degradação por térmita de solo.

Quadro 19: Equipamentos utilizados para verificar a degradação por térmita de solo.

Ensaio	Equipamentos	Local
Degradação biológica por térmita de solo.	Em 24(a) a placa de petri de vidro esterilizada, 24(b) recipiente de fibrocimento e 24(c) borrifador.	Laboratório de Madeiras da UFBA - LABMAD.

Figura 24: Aparatos para ensaio de degradação biológica.



(a) (b) (c)

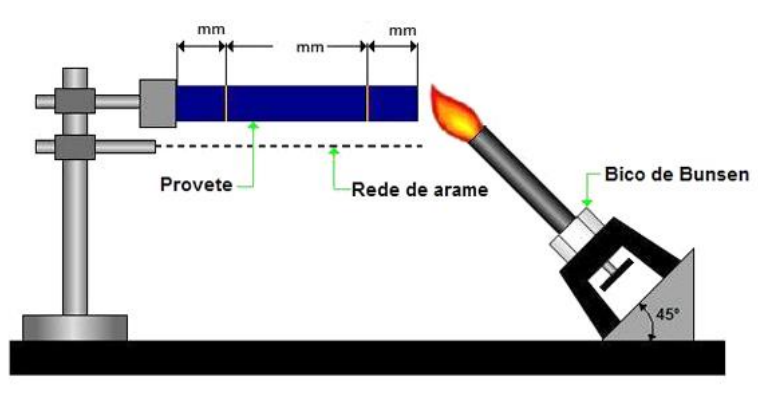
Fonte: O Autor.

Já no Quadro 20 estão listados os equipamentos empregados para o ensaio de inflamabilidade no material reconstituído.

Quadro 20: Equipamentos utilizados para verificar inflamabilidade do reconstituído.

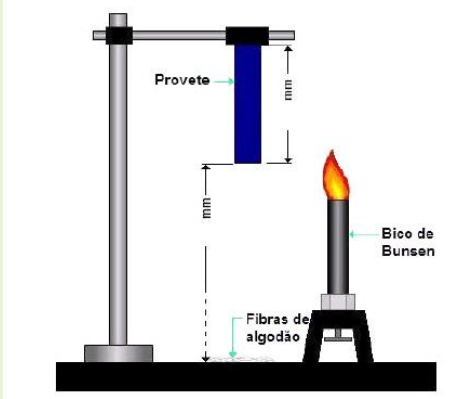
Ensaio	Equipamentos	Local
Inflamabilidade	Figura 25, a queima horizontal e na Fig. 26 a queima vertical.	Newtech

Figura 25: Inflamabilidade – Queima horizontal.



(a)

Figura 26: Inflamabilidade – Queima vertical.



(b)

Fonte: O Autor, adaptado de CTB.

Por fim, os equipamentos para proteção individual que foram utilizados para o desenvolvimento desse estudo foram luvas de borracha, óculos de proteção e máscaras.

3.2 Métodos

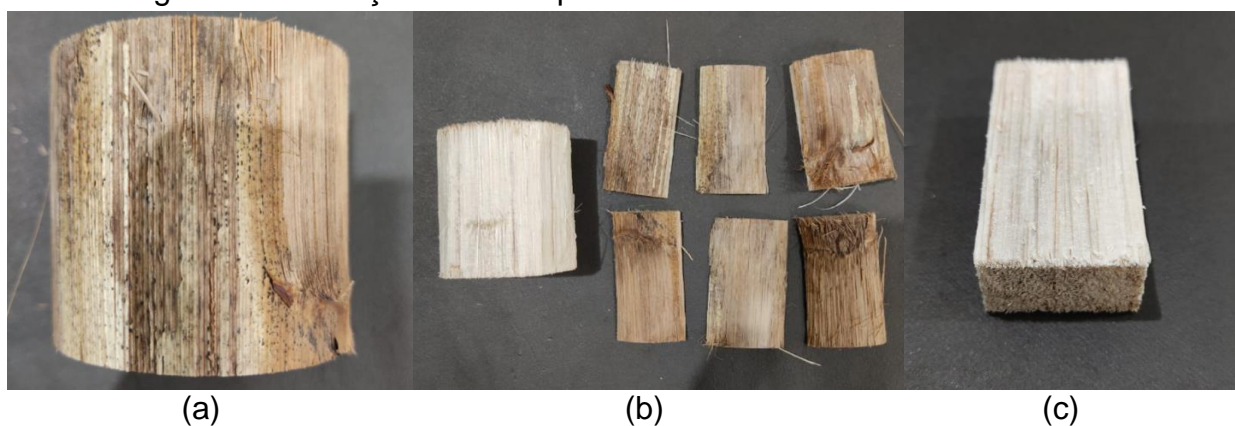
3.2.1 Ensaios físicos na flecha de sisal

Para determinação das propriedades físicas da flecha de sisal, sendo umidade e densidade aparente, foram adotados os requisitos da NBR 7190 (ABNT, 1997), junto ao “Anexo B” – Determinação das propriedades das madeiras para projetos estruturais, no item B.5 Umidade e o item B.6 Densidade. Também foram determinadas as propriedades de inchamento e absorção do miolo da flecha *in natura*.

3.2.1.1 Umidade e densidade aparente da flecha de sisal

A determinação da umidade e densidade aparente da flecha de sisal seguiu a NBR 7190 (ABNT, 1997). Assim, das flechas foram extraídos, de forma randômica, 12 (doze) corpos-de-prova (CPs) para ensaio de umidade e para ensaio de densidade. As dimensões dos CPs eram de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento de 5,0 cm na direção longitudinal das fibras e os CPs foram extraídos com auxílio de um estilete. A figura 27 mostra o processo para obtenção dos CPs para ensaios físicos no miolo da flecha, em 27(a) observa-se a seção da flecha *in natura*, em 27(b) o miolo e a casca e em 27(c) exemplar do CP finalizado.

Figura 27: Obtenção dos CPs para ensaios físicos no miolo da flecha.

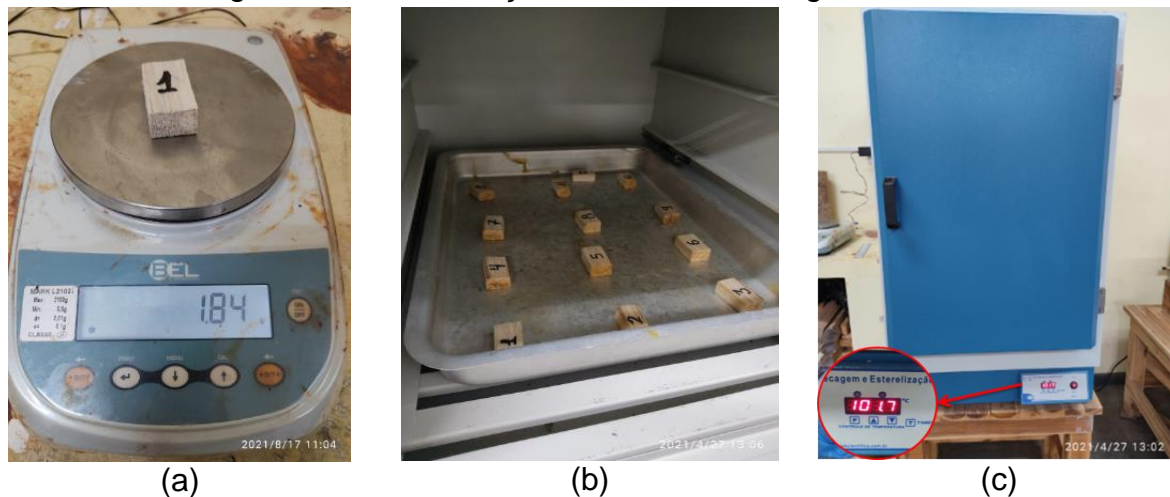


Fonte: O autor.

A massa das amostras foi medida com balança de precisão 0,01g (modelo BEL - L3102iH) e em seguida estas foram levadas à estufa (modelo SOLAB – SL-100) com temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Durante este processo a medida da massa foi feita a cada 6 horas ou até que a variação fosse menor ou igual a 0,5% da última massa

medida. A figura 28 mostra em 28(a) a determinação das massas dos CPs, em 28(b) os CPs no interior da estufa e 28(c) a temperatura de secagem na estufa.

Figura 28: Determinação de massa e secagem dos CPs.



Fonte: O autor.

A umidade das amostras foi determinada conforme a Equação 5.

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} * 100 \quad (5)$$

Em que:

$U(\%)$ é a umidade expressa em porcentagem;

m_i é a massa inicial da amostra em gramas;

m_s é a massa da amostra seca em gramas.

A densidade aparente foi encontrada medindo a massa e o volume das amostras quando a umidade foi de 12%, conforme a Equação 6.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{v_{12}} \quad (6)$$

Em que:

ρ_{ap} é a densidade aparente da amostra em kg/m³;

m_{12} é a massa da amostra (em kg) quando teor de umidade igual a 12%;

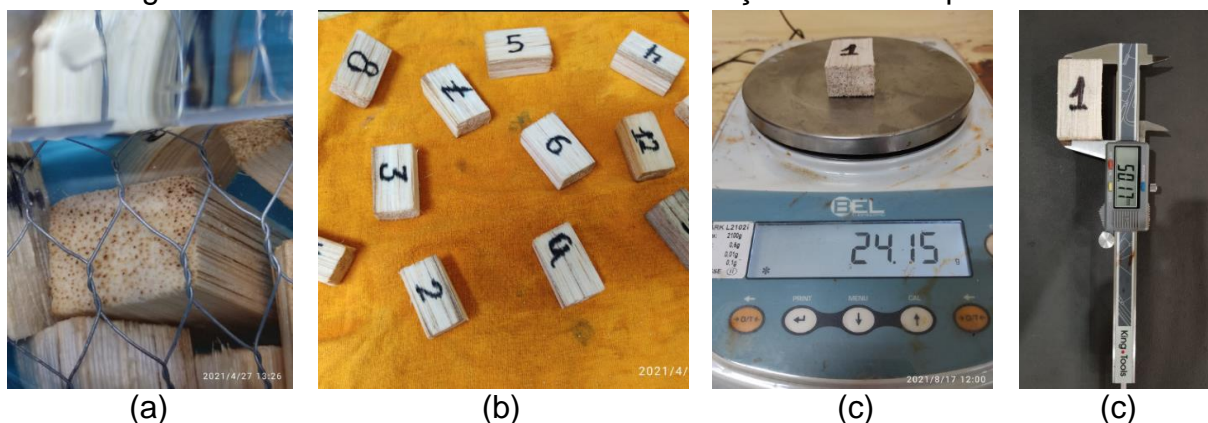
v_{12} é o volume da amostra (em m³) quando teor de umidade igual a 12%.

O volume foi determinado medindo-se as dimensões externas, comprimento, largura e espessura dos corpos-de-prova, com auxílio de paquímetro digital.

3.2.1.2 Inchamento e absorção do miolo da flecha

A determinação dos teores de inchamento e absorção foi realizada seguindo os parâmetros adaptados da NBR 14810:2002. Dessa forma, os CPs empregados no item 3.2.1.1 foram utilizados após finalização da etapa anterior. Após período de estabilização de 72 horas, os CPs foram submetidos à imersão em água e tiveram as massas determinadas no período de 2 horas, 24 horas, e 168 horas. O excesso de água da superfície dos CPs foi retirado com um tecido. A figura 29 mostra em 29(a) os CPs sob água, em 29(b) a retirada do excesso de água e em 29(c) a medida das dimensões após imersão.

Figura 29: Processo de Inchamento e absorção dos CPs após imersão.



Fonte: O autor.

Portanto, o inchamento foi determinado através da Equação 7.

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} * 100 \quad (7)$$

Em que:

I é o inchamento em espessura do corpo de prova, expresso em porcentagem;

$E1$ é a espessura do corpo de prova após a imersão (em mm);

$E0$ é a espessura do corpo de prova antes da imersão (em mm).

Já a absorção foi determinada através da Equação 8.

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} * 100 \quad (8)$$

Em que:

A é a absorção da água em porcentagem;

M_1 é a massa do corpo de prova após a imersão (em gramas);

M_0 é a massa do corpo de prova antes da imersão (em gramas).

3.2.2 Determinação da composição química do miolo

A composição química do miolo da flecha de sisal foi determinada através das normas TAPPI T 207 CM-99 para teor de extrativos em água, TAPPI T211 OM-93 para teor de cinzas. A lignina total foi medida pela soma de lignina solúvel em ácido através da TAPPI UM 250 e lignina insolúvel em ácido pela TAPPI T222 om-02.

Para obtenção da amostra de miolo de flecha de sisal moída na granulometria adequada para análise química usando as normas supracitadas, 25 gramas do material do miolo foi triturado em ciclos de 60 segundos em triturador Cuisinart 650BR até a finura de 60 MESH. A Figura 30 mostra o material do miolo da flecha do sisal triturado.

Figura 30: Material da flecha triturado com finura menor que 60 MESH.



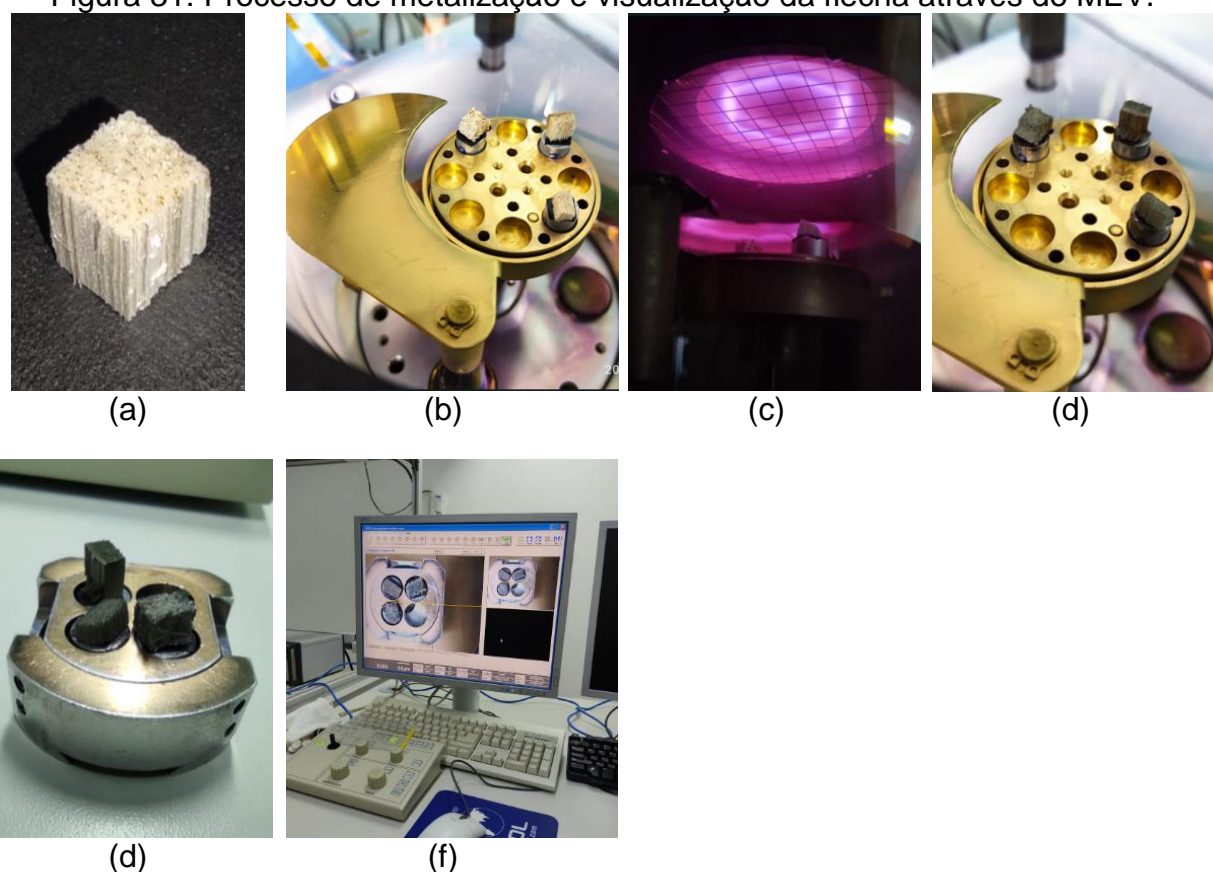
Fonte: O autor.

3.2.3 Microestrutura do miolo da flecha de sisal

Para análise microestrutural do miolo da flecha de sisal *in natura*, foram extraídos corpos-de-prova cúbicos da região central da flecha. Os CPs com dimensões de 10 mm x 10 mm x 10 mm foram fixados à uma base metálica para posterior tratamento à vácuo com aplicação de uma fina camada de ouro em pó, denominado metalização, que foi realizado com auxílio do *Denton Vacuum Desk IV*, durante o inter-

valo de 5 minutos. Após a metalização, o material foi fixado à base do acoplador para observação no microscópio eletrônico de varredura (MEV), que neste estudo foi o modelo JSM-6390LV. A figura 31 mostra em 31(a) um dos CPs antes da metalização, em 31(b) o CP do miolo acoplado à base do metalizador, 31(c) o processo de metalização, 31(d) os CPs após a metalização, 31(e) os CPs na base do MEV e em 31(f) a distribuição dos CPs visto através do MEV.

Figura 31: Processo de metalização e visualização da flecha através do MEV.



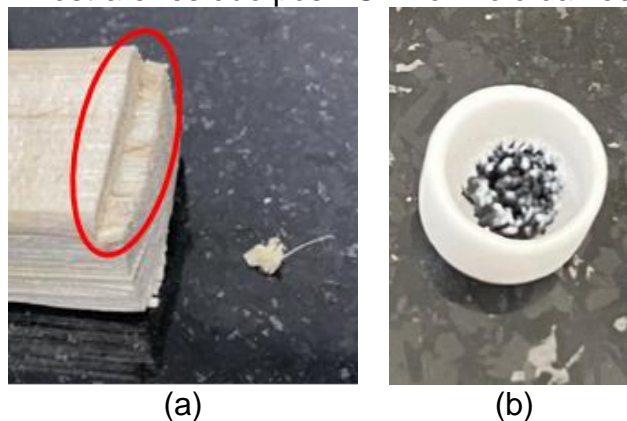
Fonte: O autor.

3.2.4 Análise termogravimétrica do miolo da flecha de sisal

As análises termogravimétricas no miolo *in natura* e na resina poliuretana à base de mamona após cura, foram realizadas conforme a ASTM E 1131, com temperatura de ensaio variando de 18°C à 620°C, sendo que o incremento foi de 10°C por minuto e a umidade relativa do ambiente estava em 51%. A variação da massa ao longo do tempo em função do aumento da temperatura foi determinada através de uma termobalança modelo Sartorius MSU225P-1CE-DU com resolução de 0,00001g. O ensaio foi conduzido em uma atmosfera de N₂ variando de 5 a 100 ml

por minuto. A figura 32 mostra os CPs antes e após ensaio, em 32(a) observa-se a amostra do miolo, em 32(b) tem-se resíduo do miolo após ensaio.

Figura 32: Amostra e resíduo pós TGA no miolo da flecha de sisal.



Fonte: O autor.

3.2.5 Manufatura do painel reconstituído

3.2.5.1 Obtenção da matéria-prima – miolo da flecha

A produção do material reconstituído foi realizada, coletando-se exemplares da flecha em fazenda de cultivo do agave, em estado de secura à condição ambiente. Em seguida, o material foi limpo superficialmente, onde foram removidos os espinhos laterais da casca. A flecha então foi seccionada com auxílio de serra circular em trechos de 100 a 150 cm, e logo depois a casca também foi retirada e descartada, e apenas o miolo foi levado para ser passado no triturador, sob peneira de 3 mm.

A coleta das flechas foi feita com auxílio de foice para se evitar acidentes com os espinhos das folhas. Já as cascas foram removidas com auxílio de facão. O produto da tritura foi então armazenado em sacos plásticos para se evitar absorção ou perda de umidade durante o transporte da matéria-prima. A figura 33 mostra a sequência onde 33(a) é a coleta da flecha de sisal, 33(b) algumas flechas seccionadas com serra circular, 33(c) apenas miolo sem a casca, 33(d) processo de tritramento e 33(e) produto pós tritramento do miolo.

Figura 33: Coleta, corte, limpeza e trituração da flecha e pós tritura.



Fonte: O autor.

3.2.5.2 Seleção das partículas

Com o miolo triturado foi então possível dar início ao processo de manufatura dos painéis. O material de granulometria aleatória foi então peneirado com auxílio de agitador de peneiras por 20 minutos na potência 10 do agitador de peneiras Abranzinox, para seleção de partículas com dimensões menores ou iguais a 2 mm. Embora a NBR 14810-1(2002) mostre que chapas de madeira aglomeradas têm partículas variando entre 3 mm a 50 mm, optou-se por partículas menores que este intervalo em virtude de o material utilizado ser lignocelulósico (porém, não classificado como madeira) e a menor dimensão de partícula permitir o melhor acabamento superficial no produto.

A tabela 1 mostra a média dos valores de flecha triturada retidas e as respectivas peneiras que foram utilizadas. A média foi determinada pela medida consecutiva de amostras de 250g de miolo triturado, com a mesma umidade do material extraído em campo.

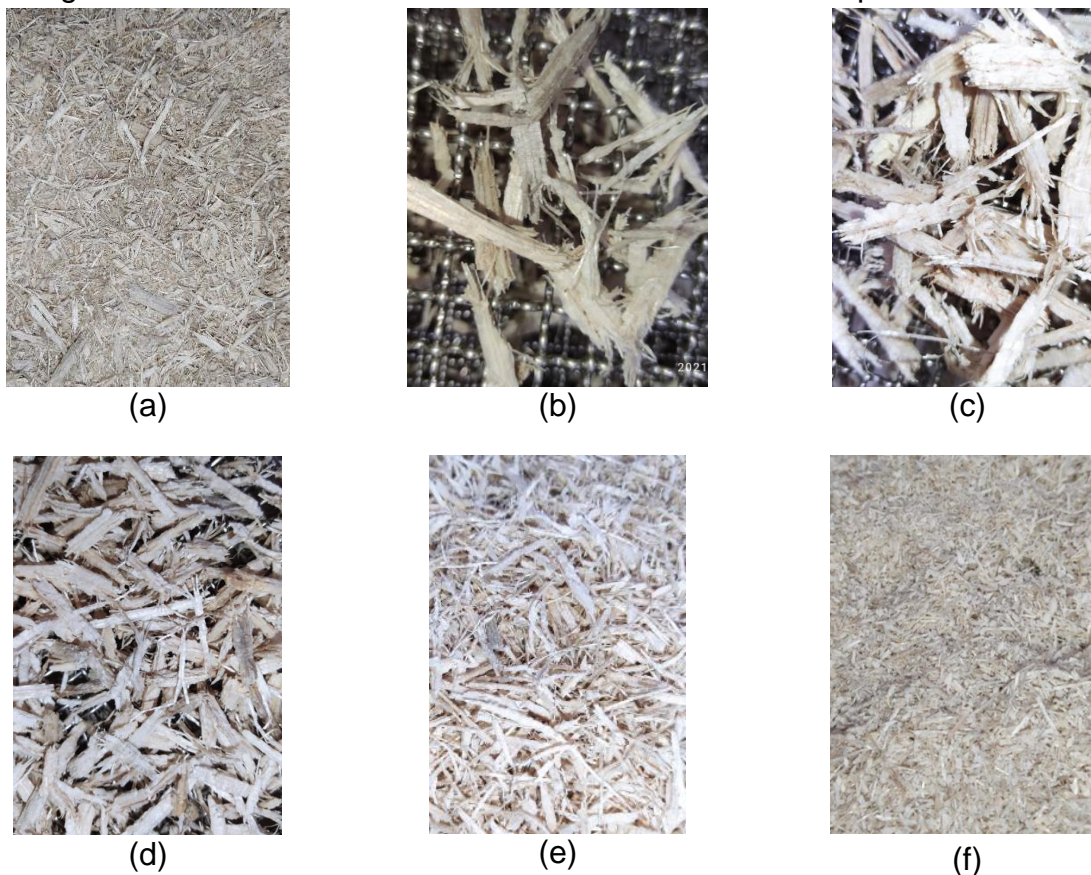
Tabela 1: Porcentagens retidas nas respectivas peneiras.

PENEIRA	Teor retido
Ø (mm)	%
25	-
16	-
9,5	0,125
6,3	0,363
4,0	0,497
2,0	14,17
Fundo	84,83

Fonte: O autor.

O processo de peneiramento permitiu a separação e escolha da granulometria mais adequada à reconstituição. A figura 34 mostra a granulometria dos materiais retidos em 34(a) material sem peneiramento, 34(b) material retido na peneira de 9,5 mm, em 34(c) retido na peneira de 6,3 mm, em 34(d) retido na peneira de 4 mm, em 34(e) retido na peneira de 2 mm e 34(f) material menor que 2 mm retido no fundo

Figura 34: Granulometria do material retido em diferentes peneiras.



Fonte: O autor.

3.2.5.3 Determinação da umidade das partículas

Após a seleção das partículas o material foi levado à estufa com temperatura constante de $100 \pm 2^\circ\text{C}$ até que a umidade fosse inferior a 3%. Esta etapa é necessária, pois quanto menor o conteúdo de umidade, maior é a taxa de absorção, velocidade de cura e solidificação do adesivo (IWAKIRI et al., 2005). A figura 35 mostra em 35(a) as partículas com geometria maior ou igual a 2 mm, em 35(b) as partículas menores que 2 mm e em 35(c) a secagem das partículas em estufa.

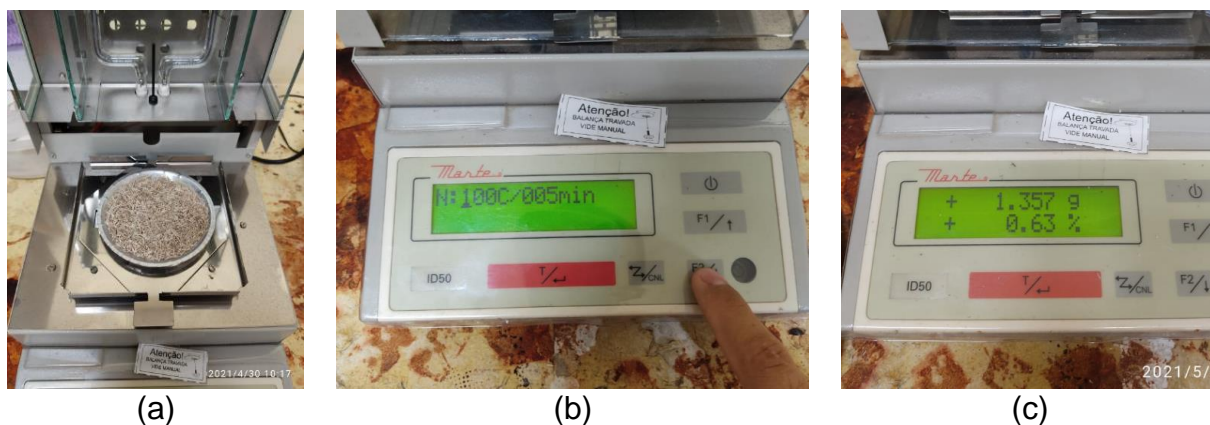
Figura 35: Partículas e secagem das partículas.



Fonte: O autor.

O tempo necessário para atingir a umidade ótima das partículas foi menor que 6 horas em todos os lotes ensaiados. Para verificação da umidade do material, entre 1g e 1,5g do miolo triturado foi levado à balança determinadora de umidade, que foi ajustada para operar em 100°C e durante o intervalo de 5 minutos. Esta medida foi realizada com o material imediatamente coletado da bandeja na estufa, a fim de se evitar os ganhos de umidade no processo. A figura 36 mostra a sequência para determinação da umidade da matéria-prima, em 36(a) a tritura sobre o prato de determinação, em 36(b) a configuração usada na determinação, e em 36(c) o valor lido ao final da medição.

Figura 36: Processo de determinação da umidade da matéria-prima.



Fonte: O autor.

3.2.5.4 Adição da resina às partículas e homogeneização

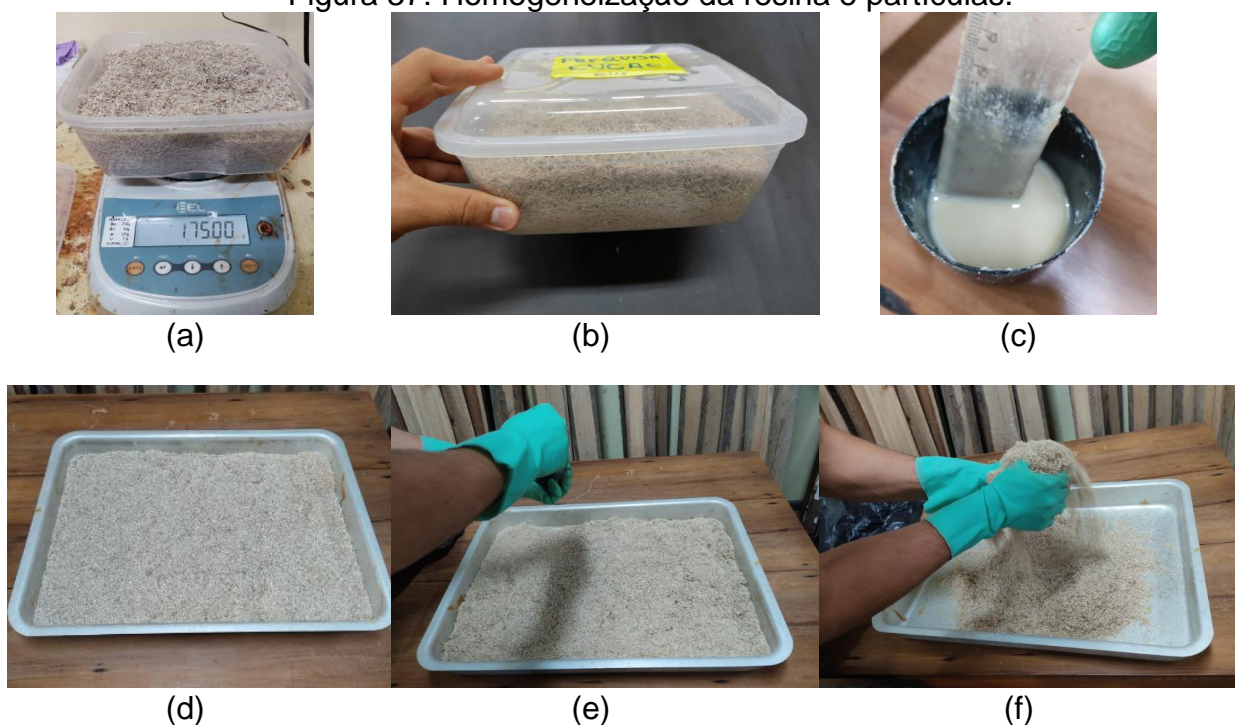
Com as partículas em já umidade adequada (menor que 3%), foi utilizada balança digital para pesagem de 175g do miolo da flecha de sisal triturada, em seguida este material foi reservado em recipiente plástico e vedado para evitar a absorção de umidade. Esta etapa é fundamental para que o material perca calor para o meio e atinja temperatura ambiente antes da aplicação da resina, uma vez que o adesivo utilizado tem seu processo de cura acelerado, quando submetido à temperatura.

Em seguida, foi preparada a mistura de resina poliuretana à base de mamona na proporção 2:1, sendo que duas partes foram do polioliol à base de óleos vegetais, predominantemente a mamona e uma parte do isocianato. A relação das partes é feita em massa, portanto foram usadas 17,5g da mistura, sendo que 11,66g corresponderam ao polioliol e 5,84g ao isocianato, para o teor de produção considerando 10% de resina, entretanto também foram produzidos painéis com 5%, 8% e 12%. A homogeneização das pastes de resina foi feita manualmente, durante 5 minutos, antes da adição às partículas.

Com a resina pronta para mistura, as partículas de flecha foram dispostas em uma bandeja metálica e sobre elas, a resina foi aplicada uniformemente. A homogeneização entre a resina e as partículas trituradas foi feita manualmente, durante 8 minutos. Ao longo desse processo, observou-se a mudança aparente do material, devido a rápida absorção da resina pelas partículas secas, saindo de um estado de seca para um aspecto de hidratação.

A figura 37 mostra a sequência detalhada do processo de adição e mistura da resina, sendo 37(a) a pesagem das partículas de flecha, 37(b) o material reservado, 37(c) aspecto da resina homogeneizada, 37(d) partículas dispostas em bandeja metálica, 37(e) aplicação de resina nas partículas e 37(f) a homogeneização manual de resina e partículas.

Figura 37: Homogeneização da resina e partículas.



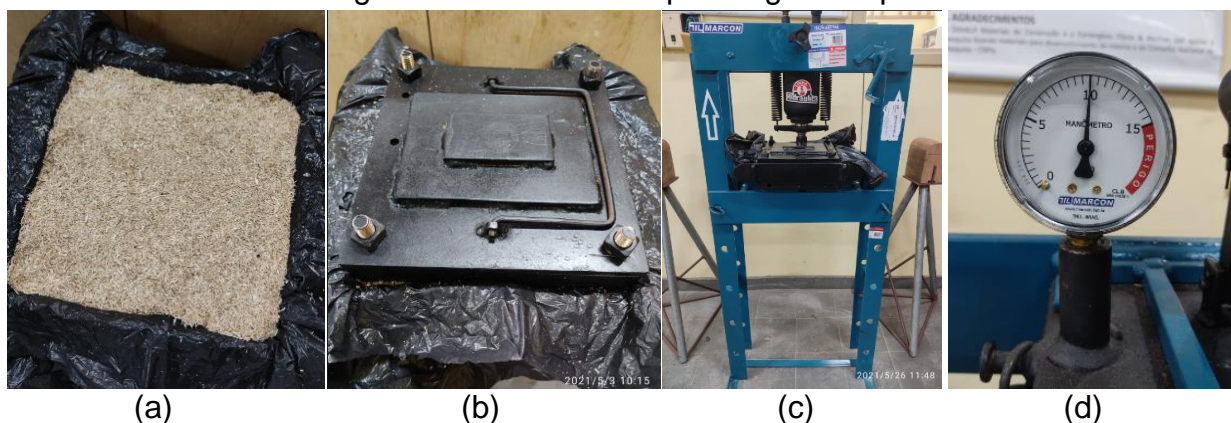
Fonte: O autor.

3.2.5.5 Formação do colchão e prensagem do painel

Com a matéria-prima devidamente homogeneizada, o material foi acomodado no interior da forma metálica, que estava forrada com camada plástica para facilitar a desforma. Esta camada foi necessária, pois verificou-se em testes preliminares a aderência entre as faces do painel e as faces da prensa. Em seguida a tampa da forma foi posicionada, com uma camada plástica entre a forma e o material, e foi feita a pré-prensagem para acomodação do material na forma e formação do colchão. Por fim, a forma com o colchão foi posicionada sobre a mesa da prensa hidráulica e o conjunto foi prensado por 3 horas com carga de 10 toneladas, correspondente à 2 MPa.

A figura 38 mostra o processo para prensagem do painel, onde 38(a) é a acomodação do material na forma metálica, 38(b) o posicionamento da tampa, 38(c) a prensagem em andamento e 38(d) a carga aplicada.

Figura 38: Processo de prensagem do painel.



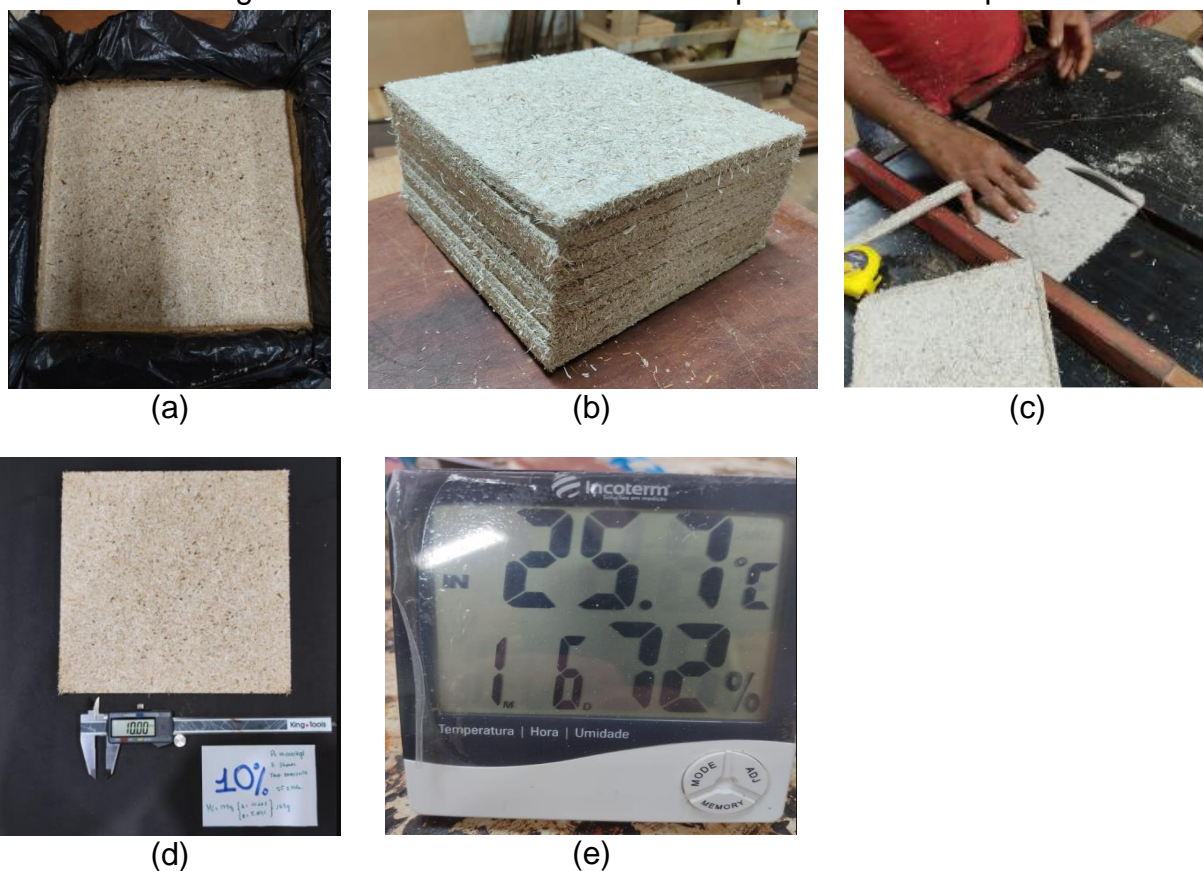
(a) Fonte: O autor.

3.2.5.6 Cura e acabamento

Findo o processo de prensagem, o painel foi extraído da forma metálica, em seguida, os painéis foram distribuídos horizontalmente sobre um balcão plano de madeira, em ambiente coberto e exposto a ventilação natural sem contato direto com radiação solar, no interior do Laboratório de Madeiras da UFBA. A cura foi feita em temperatura ambiente, aproximadamente $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar em torno de $70\% \pm 5\%$. Este processo é necessário para que o material estabilize, absorvendo umidade que foi perdida durante a secagem do material e a resina possa solidificar (IWAKIRI et al., 2005).

Após a estabilização com o ambiente, o material foi aparelhado com auxílio de serra de bancada, gerando painéis de 20 cm x 20 cm. Ao todo, foram produzidos 11 painéis nestas configurações. A figura 39 mostra a sequência acima descrita, onde 39(a) é o painel após prensagem ainda no interior da forma, 39(b) painéis estabilizados empilhados, 39(c) aparelhagem dos painéis, 39(d) painel finalizado e 39(e) indicador termo higrômetro.

Figura 39: Processo de desforma e aparelhamento do painel.



Fonte: O autor.

3.2.6 Ensaios no painel

3.2.6.1 Propriedades físicas

3.2.6.1.1 Umidade e densidade

A umidade dos painéis foi determinada conforme a NBR 14.810-3:2002. Portanto, foram extraídos corpos-de-prova com dimensões 50 mm por 50 mm, com auxílio de serra de bancada. A massa das amostras foi determinada com balança de precisão 0,01g modelo L3102iH (BEL). As dimensões das amostras foram medidas através do paquímetro de precisão 0,05 mm (150mm/6" modelo Mitutoyo).

Em seguida as amostras foram dispostas em bandejas metálicas e submetidas à estufa (modelo SL-100) com temperatura de 103 ± 2 °C, até que a massa das mesmas estivessem estabilizadas. A expressão usada para determinação da umidade está descrita na Equação 9.

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} * 100 \quad (9)$$

Onde:

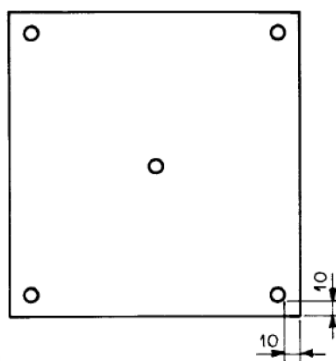
U é o teor de umidade expresso em porcentagem;

m_u é a massa inicial úmida da amostra em gramas;

m_s é a massa da amostra seca em gramas.

Para determinação da densidade das amostras, a NBR 14 810-3 (ABNT, 2002) recomenda que as medidas dos CPs sejam feitas em 5 pontos distintos da amostra, conforme a Figura 40.

Figura 40: Posições para medição de espessura da amostra.



Fonte: NBR 14 810 (ABNT, 2002).

Assim, a densidade foi calculada através da Equação 10.

$$D = \frac{M}{V} \quad (10)$$

Sendo:

D é a densidade do painel em g/mm³;

M é a massa do painel em g;

V é o volume do painel em mm³.

E onde V é calculado através da Equação 11.

$$V = L * C * E \quad (11)$$

No qual:

V é o volume do corpo de prova, em mm^3 ;

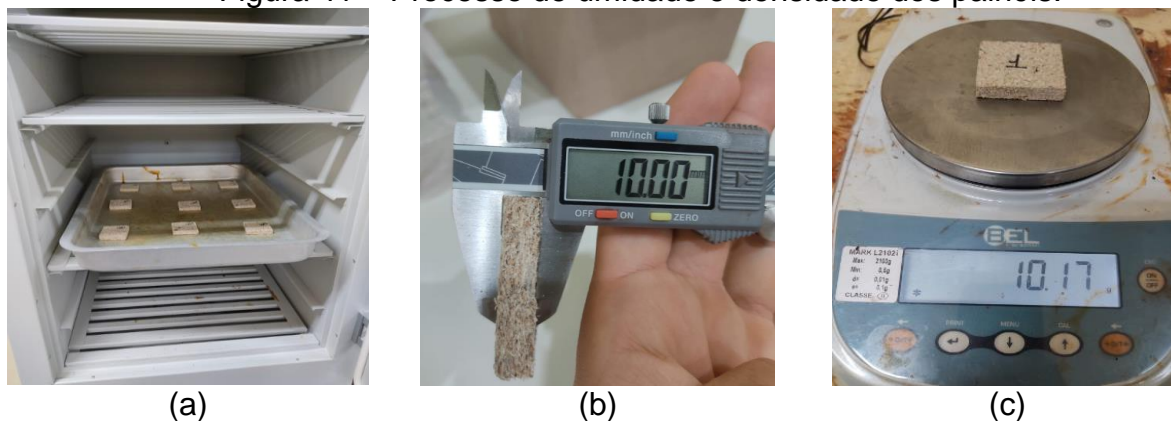
L é a largura do corpo de prova em mm;

C é o comprimento do corpo de prova em mm;

E é a espessura da amostra em mm.

A figura 41 mostra o processo da determinação da umidade e densidade dos painéis produzidos, sendo que 41(a) são os CPs dispostos na bandeja durante secagem na estufa, 41(b) determinação das dimensões dos CPs e 41(c) determinação da massa dos CPs.

Figura 41 – Processo de umidade e densidade dos painéis.



Fonte: O autor.

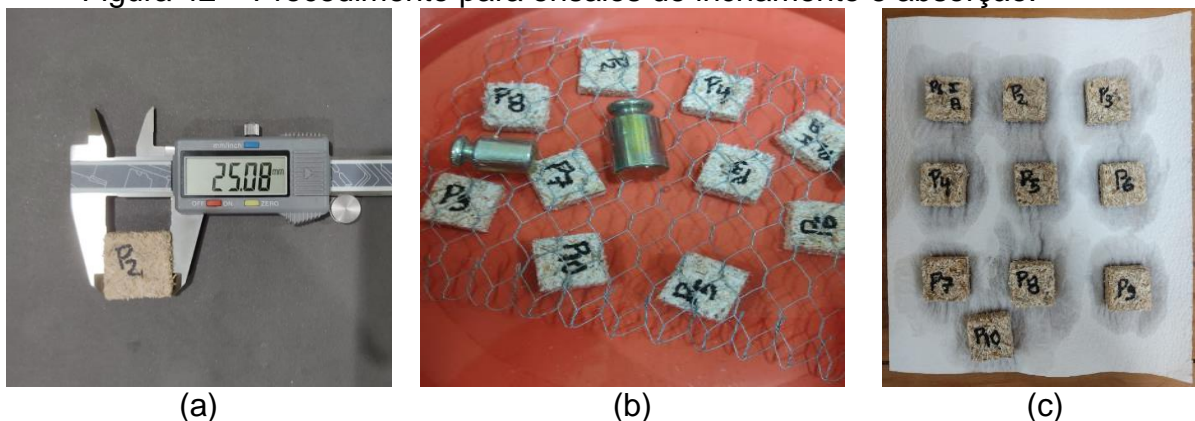
3.2.6.1.2 Inchamento e absorção

Analogamente, também foram determinados inchamento e absorção do painel conforme a NBR 14810-3:2002. Assim, foram extraídos CPs de dimensões 25 mm por 25 mm por 10mm, com auxílio de serra circular. Os CPs foram pesados com balança digital e tiveram as medidas dimensionais determinadas com paquímetro digital.

Após determinação das dimensões, as amostras foram colocadas em recipiente plástico e sobre elas foi colocada uma tela e pesos metálicos, em seguida ao recipiente foi adicionado água, de modo que o nível da água foi 25 mm acima da superfície superior dos CPs, conforme a NBR 14810-3:2002.

A determinação das massas e dimensões dos CPs foi feita após o intervalo de 2 horas, 24 horas e 172 horas. Antes disso, foi retirado o excesso superficial de água dos CPs com auxílio de papel toalha. A figura 42 demonstra este processo, sendo 42(a) a determinação das dimensões seco, 42(b) a imersão dos CPs e 42(c) remoção do excesso de água dos CPs após imersão.

Figura 42 – Procedimento para ensaios de inchamento e absorção.



Fonte: O autor.

Em posse das dimensões e massas, o inchamento das amostras foi verificado através da equação 12.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} * 100 \quad (12)$$

Sendo:

I é o inchamento em espessura do corpo de prova, expresso em porcentagem;

E_1 é a espessura do CP após a imersão, em mm;

E_0 é a espessura do CP antes da imersão, em mm.

Já a absorção foi determinada através da equação 13, descrita a seguir.

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} * 100 \quad (13)$$

Sendo:

A é a absorção de água, em porcentagem;

M_1 é a massa do CP após imersão, em gramas;

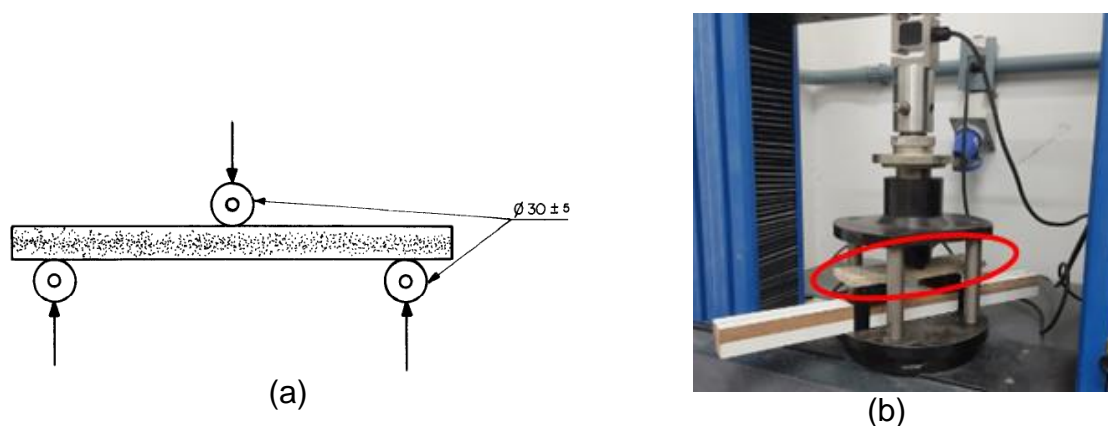
M_0 é a massa do CP antes da imersão, em gramas.

3.2.6.2 Propriedades mecânicas

3.2.6.2.1 Flexão estática

A determinação da flexão estática foi realizada segundo a NBR 14810-3:2002. Para isso, foi utilizada prensa eletromecânica, com velocidade de 6 mm por minuto, conforme a “Tabela 2” da NBR supracitada, e os CPs foram posicionado apoiados sobre as extremidades, de modo que o vão fosse de pelo menos 10 vezes o valor da espessura, adequado à espessura do material proposto. Além disso, foram realizadas medidas em 3 pontos distintos para se determinar a espessura média. A figura 43 ilustra o ensaio de flexão estática, conforme a NBR 14810-3:2002, no qual 43(a) é o modelo do ensaio e 43(b) CP pronto para ser ensaiado.

Figura 43: Ensaio de flexão estática.



Fonte: O autor e NBR 14810-3:2002.

Em seguida, determinou-se o módulo de ruptura (resistência à flexão) e o módulo de elasticidade do painel.

Para o módulo de ruptura adotou-se a equação 14.

$$MOR = \frac{1,5*(P*D)}{B*E^2} \quad (14)$$

Sendo que:

MOR é o módulo de ruptura expresso em MPa;

P é a carga de ruptura lida, expressa em N;

D é a distância entre apoios do aparelho, em mm;

B é a largura do CP em mm;

E é a espessura média tomada em 3 pontos do CP, expressa em mm.

Já o módulo de elasticidade foi determinado pela equação 15.

$$MOE = \frac{P1 * D^3}{d * 4 * B * E^3} \quad (15)$$

Sendo que:

MOE é o módulo de elasticidade expresso em MPa;

P1 é a carga no limite proporcional lida no ensaio, e expressa em N;

D é a distância entre os apoios do aparelho, em mm;

d é a deflexão em mm correspondente a carga *P1*;

B é a largura do CP em mm;

E é a espessura média tomada em 3 pontos do CP, expressa em mm.

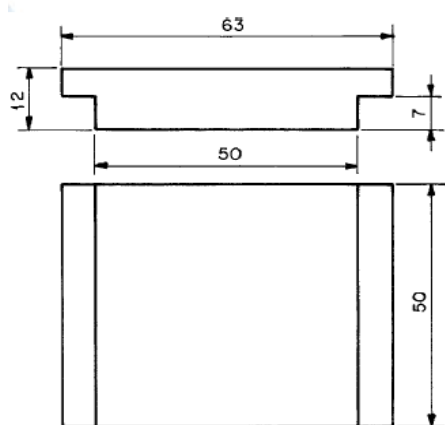
3.2.6.2.2 Tração perpendicular

A resistência à tração perpendicular foi avaliada segundo a NBR 14810-3:2002. Para isso, CPs de dimensões 50 mm x 50 mm x 10 mm foram colados em blocos de madeira maciça conforme o Anexo N desta norma. Além disso, também foram confeccionados dispositivos para ensaio de tração direta, conforme o Anexo M da mesma norma.

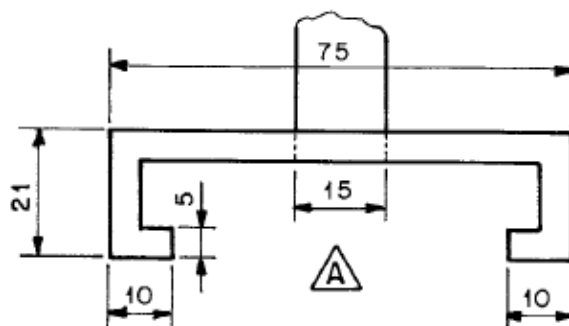
Para a colagem dos painéis aos blocos maciços de madeira foi utilizada a resina poliuretana à base de mamona na proporção 2:1, e a madeira utilizada foi a sucupira, disponível no Laboratório de Madeiras da UFBA. Antes da colagem, as faces do bloco de madeira maciça foram lixadas com lixa grana 80, conforme item 6.15.1 da NBR adotada. Além dos blocos, também foi confeccionado um par de garras, conforme o Anexo M da NBR 14180-3:2002, para reprodução do ensaio. O ensaio foi conduzido com velocidade de 4 mm por minuto até a ruptura dos CPs.

A figura 44 exibe uma seqüência de imagens relativas à tração perpendicular, onde 44(a) é modelo do bloco maciço de madeira, 44(b) é o modelo normatizado da garra, 44(c) é o CP do painel colado em material compatível e 44(d) conjunto finalizado para ensaio.

Figura 44: Ensaio de tração perpendicular.



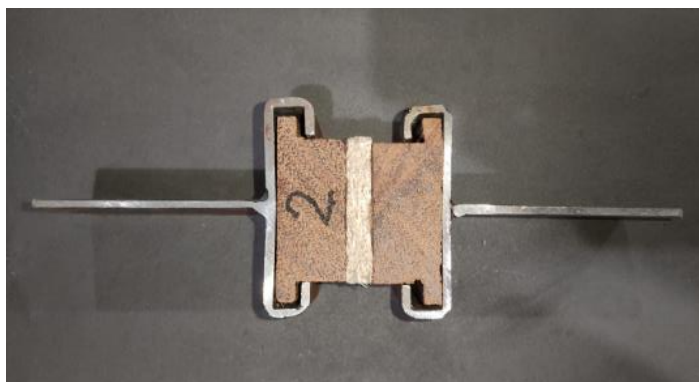
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: O autor e NBR 14810-3:2002.

A figura 45 mostra o corpo de prova posicionado para execução do ensaio.

Figura 45: Execução do ensaio de tração perpendicular.



Fonte: O autor.

A resistência à tração foi determinada pela equação 16:

$$TP = \frac{P}{S} \quad (16)$$

Sendo que:

TP é a resistência à tração perpendicular em MPa;

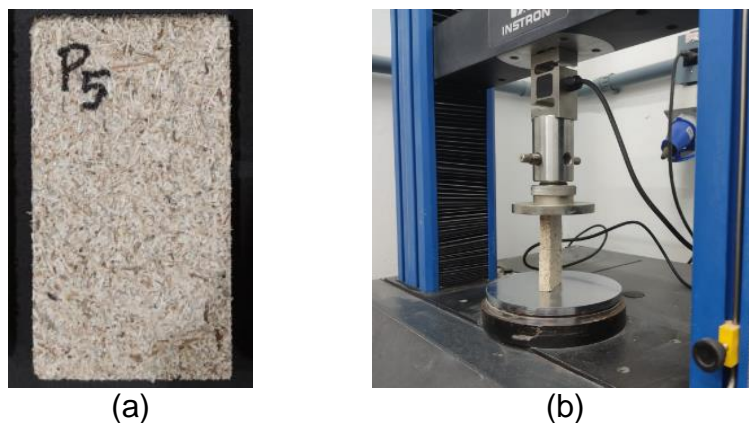
P é a carga de ruptura lida, expressa em Newtons;

S é a área superficial do CP em milímetros quadrados;

3.2.6.2.3 Compressão longitudinal

A resistência a compressão longitudinal do painel foi verificada através da NBR 14810-3:2002. De modo que, as configurações de prensagem foram adaptadas à prensa disponível para ensaio e ao painel proposto. Portanto, a velocidade de ensaio adotada foi de 5 mm por minuto, embora a NBR adotada para este ensaio sugira que seja feito incremento de 0,12mm/minuto para cada 25 mm de espessura do painel, entretanto, o material desenvolvido limitou-se a espessura de 10 mm. A figura 46 mostra em 46(a) o CP para ensaio de compressão, de espessura 10 mm e largura 50 mm e altura 100 mm e 46(b) o ensaio de compressão em andamento.

Figura 46: Ensaio de compressão longitudinal.



Fonte: O autor.

Logo, a resistência a compressão foi determinada pela equação 17.

$$F = \frac{f}{A} \quad (17)$$

Sendo que:

F é a compressão longitudinal em MPa;

f é a força de ruptura, expressa em N;

A é a área da seção em mm²;

3.2.6.3 Propriedades térmicas

3.2.6.3.1 Condutividade térmica

A determinação da condutividade térmica do material desenvolvido foi feita por meio do método da placa quente protegida, estabelecido pela NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005). Neste ensaio, a amostra no interior do aparelho isolado termicamente foi exposta em uma das faces à placa quente e o gradiente de temperatura foi verificado no contato das faces da amostra entre uma placa aquecedora e uma placa resfriadora.

A formação do gradiente de temperatura foi conseguido pelo aquecimento de uma chapa metálica, usando-se para isso um par de resistências de 400 W de potência, controladas por um termostato digital que aciona ou desliga o equipamento se a temperatura for inferior ou superior a 50°C.

O ensaio para determinação do coeficiente de condutividade térmica k foi realizado com temperatura de 50 °C, pois a NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005) sugere que os corpos-de-prova devem ser representativos do material ensaiado e devem ser ensaiados em temperaturas próximas às suas condições de uso.

Os termopares foram fixados às faces do painel ensaiado e o conjunto foi levado ao interior do equipamento desenvolvido e isolado com EPS de 30 mm. O contato entre as faces do material ensaiado e o conjunto de termopares às placas quente e fria foi feito pela aplicação de carga moderada sobre o conjunto, conforme estabelecido na NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005).

O coeficiente de condutividade térmica k foi estimado através da equação 18.

$$k = \lambda = \frac{q}{\frac{a}{e} \Delta t} \quad (18)$$

Já o fluxo de calor q foi determinado pela equação 19.

$$q = \frac{\lambda * a}{e} * \Delta t \quad (19)$$

No qual:

q é o fluxo de calor por condução;

a é a área da seção transversal do corpo de prova ensaiado;

Δt é a diferença de temperatura entre as faces quente e fria;

e é a espessura do corpo de prova ensaiado.

O fluxo de calor q para o sistema foi estimado, utilizando-se um material de condutividade térmica λ conhecido. Portanto, o fluxo de calor por condução em regime permanente foi estimado para um corpo de prova de manta de fibra de vidro com 50 mm de espessura fabricada pela *Isover Saint-Gobain*, cuja condutividade térmica λ a 50°C é de 0,038 W/(mk) e densidade de 40kg/m³, fornecido pela Rentec Refratários e Isolantes Térmicos.

A temperatura adotada para o ensaio está em acordo com a finalidade do produto desenvolvido, observada as possibilidades de emprego do produto proposto.

Outro critério estabelecido pela NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005) diz respeito à espessura mínima para determinação da condutividade térmica das amostras que devem ter espessura e de pelo menos 25 mm. Portanto, foram ensaiados 2 tipos de corpos-de-prova: no tipo A, 3 painéis com espessura de 10 mm foram sobrepostos paralelamente, de modo que a espessura final foi de 30 mm, estes CPs foram confeccionados com teor de resina de 10% e tensão de prensagem de 2 MPa; e no tipo B corpos-de-prova únicos com espessura de 30 mm, produzidos também com teor de resina de 10% e tensão de prensagem de 2 MPa foram ensaiados.

A figura 47 mostra os aparatos e equipamentos montados para determinação do coeficiente de condutividade térmica do material desenvolvido.

Figura 47: Equipamento para determinação da condutividade térmica.



Fonte: O autor.

O ensaio foi conduzido até que a diferença de temperatura entre as faces quente e fria da amostra estivessem no intervalo de 15 K a 20 K, conforme a NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005). O registro dos dados do gradiente de temperatura foi realizado a cada 5 minutos e interrompido quando se verificou quatro medidas iguais e consecutivas na face resfriadora do corpo de prova.

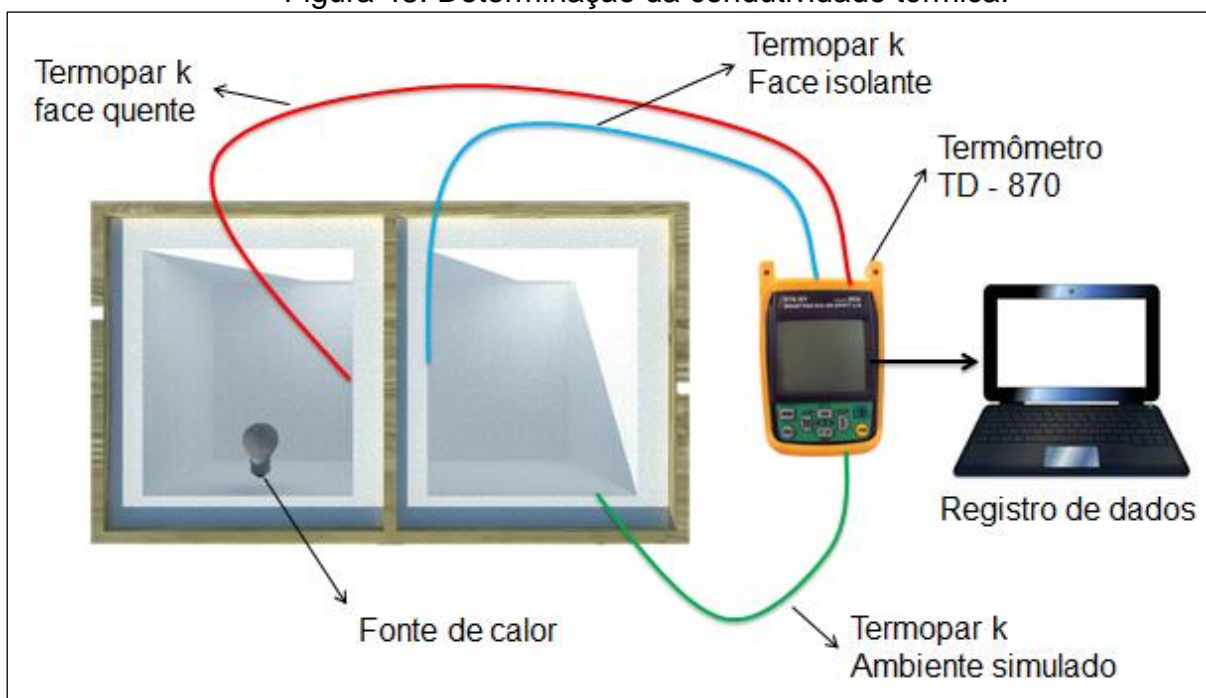
3.2.6.3.2 Isolamento térmico

A verificação da capacidade de isolamento térmica do material foi feita por meio de um calorímetro, adaptando o ensaio de Oliveira et al., (2015), que simulou o isolamento térmico entre um ambiente com uma fonte de calor e um ambiente externo, separados por um porta amostra, que força o fluxo de calor permear apenas pelo corpo de prova.

O ensaio consiste em inserir um painel em um porta amostra no interior do calorímetro, no qual em um dos lados está uma fonte de calor e na outra o ambiente a ser simulado. O porta amostra foi confeccionado em poliestireno e tem um furo circular com 10 cm de diâmetro por onde o calor pode permear. A variação da temperatura das faces do painel ao longo do tempo é registrada por termopares nas superfícies do material, bem como um terceiro termopar situado no ambiente simulado determina o aumento de temperatura deste ambiente.

Com auxílio de termômetro modelo TD-870 e termopares tipo k, foi possível determinar as temperaturas internas e externas da amostra, referentes à fonte de calor e também a temperatura do ambiente simulado. Foram feitas medidas em CPs de flecha de sisal com 10 mm de espessura e 5%, 8%, 10% e 12% de teor de resina, e também em amostras de lã de rocha, lã de vidro, lã de rocha aluminizada e lã cerâmica. A medida foi realizada a cada 5 minutos, no intervalo de 1 hora. A figura 48 mostra o esquema empregado neste ensaio.

Figura 48: Determinação da condutividade térmica.



Fonte: O autor.

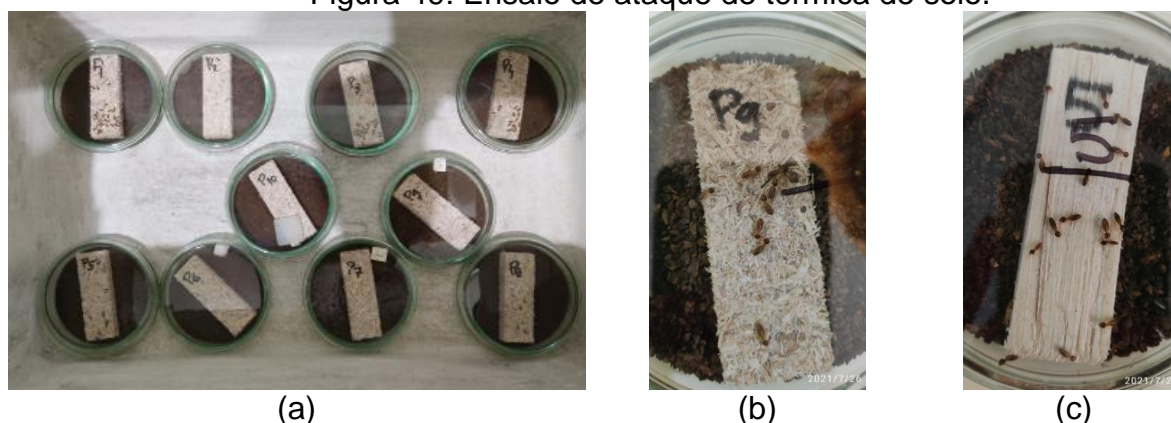
3.2.6.4 Degradação

3.2.6.4.1 Biológica: térmita de solo

A degradação biológica por ataque de cupim nos painéis foi verificada adaptando a metodologia de Silveira et al. (2020), Santos (2016) e Melo et al. (2010). Foram ensaiados 5 amostras de painel e 5 amostras do miolo *in natura*, e empregados 30 exemplares de cupins operárias mais 5 cupins soldados, para cada amostra, da espécie *Nasutitermes corninger*, coletados no Laboratório de Madeiras da UFBA.

As placas de petri de vidro foram preenchidos com 20 gramas de solo seco e umidificados com 2 gramas de água. Já os corpos-de-prova de dimensões 25 mm por 70 mm e 10 mm de espessura feitos do painel de flecha com 10% de resina de mamona e da flecha *in natura*, foram secos em estufa em temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até a umidade de 0%. Em seguida, os CPs foram deixados ao ar livre para estabilização e por fim foram inseridos nos pretris com os cupins que foram cuidadosamente selecionados. Os petri preenchidos foram tampados, mas de forma que permitiu a troca de ar e acomodados em local isolado, no interior de uma caixa de fibrocimento, livre de contato direto com luz solar. Os cupins mortos foram retirados diariamente do interior dos petri com auxílio de uma pinça. A figura 49 mostra o ensaio em andamento, em 49(a) no interior da caixa de fibrocimento, 49(b) o ensaio no painel e 49(c) o ensaio no miolo da flecha de sisal *in natura*.

Figura 49: Ensaio de ataque de térmita de solo.



Fonte: O autor.

Este ensaio permite avaliar a redução de massa que as amostras sofrem ao serem expostas às térmitas que se alimentam da celulose presente na flecha de si-

sal. A morte das térmitas é um processo natural, mas que ocorrerá com brevidade caso o meio não seja favorável à manutenção dos exemplares.

3.2.6.4.2 Inflamabilidade

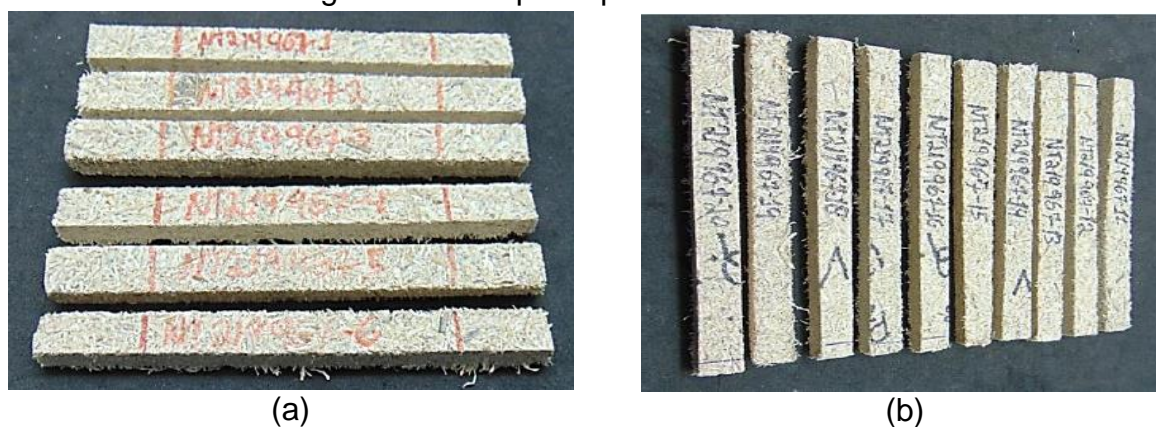
A inflamabilidade do material foi verificada de acordo a UL-94 para queima horizontal e vertical. Para isso, foram extraídos CPs de espessura 10 mm e dimensões 15 cm x 5 cm, que posteriormente foram reduzidos às dimensões de 128 mm x 12 mm e mantendo 10 mm de espessura.

Na queima horizontal (UL-94 H) foram retirados 6 CPs que foram presos pela extremidade em 6 mm do comprimento, e na extremidade posterior a chama foi diretamente adicionada, com ângulo de inclinação de 45° em relação ao material. A altura da chama foi de 20 mm e incidiu por 15 segundos. A velocidade de queima pode ser verificada pela diferença de tempo que a frente de chama levou entre a marcação de 25 mm e 100 mm.

Na queima vertical (UL-94 V) foram retirados 10 CPs que foram presos pela extremidade de 6 mm, e na extremidade posterior incidiu a chama de altura 20 mm, durante o intervalo de 10 segundos. A velocidade de queima foi determinada pela razão entre a queima da frente de chama na marcação inicial 10 mm até o final 6 mm e o tempo que a chama levou neste processo.

A figura 50 mostra em 50(a) os corpos-de-prova para queima horizontal e 50(b) os CPs para queima vertical.

Figura 50: CPs para queima horizontal e vertical.



Fonte: O autor.

3.2.7 Corpos-de-prova para ensaios nos painéis

Para os ensaios no material reconstituído foram extraídos CPs conforme a NBR 14810-3:2002. A Tabela 2 mostra a quantidade e dimensões longitudinais dos CPs extraídos dos painéis com 10 mm de espessura para cada ensaio.

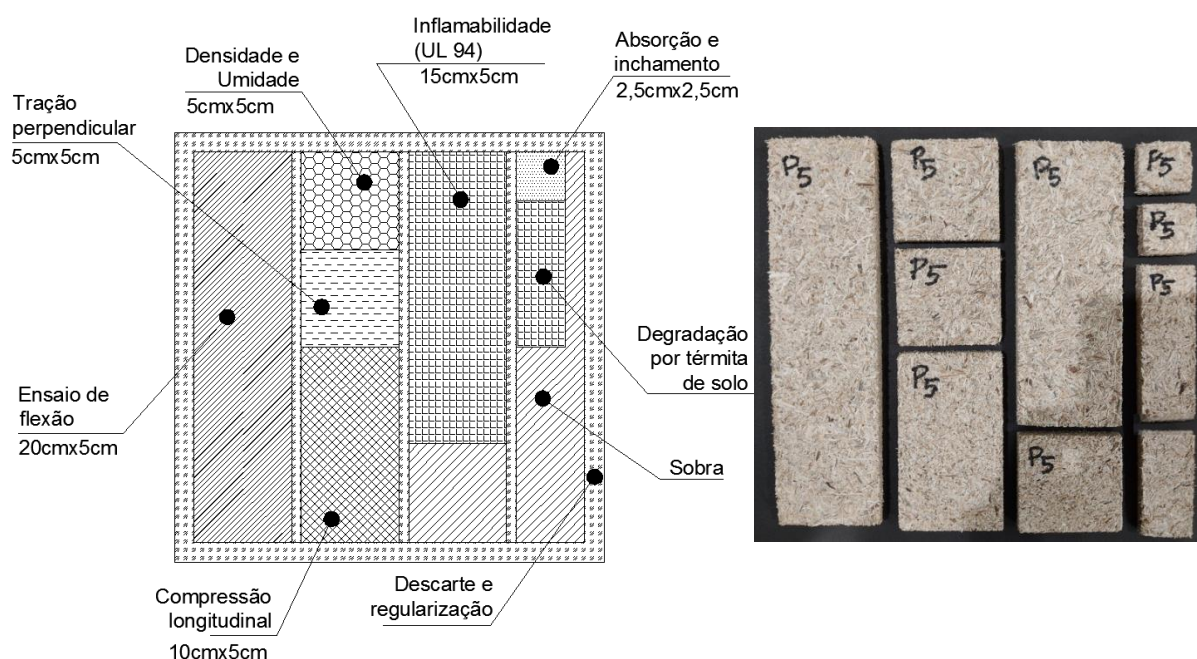
Tabela 2: CPs, quantidades e dimensões.

Propriedade	Quantidade de CPs	Dimensões dos CPs
Umidade	10	50 mm x 50 mm
Densidade	10	50 mm x 50 mm
Inchamento	10	50 mm x 50 mm
Absorção	10	25 mm x 25 mm
Flexão estática	10	200 mm x 50 mm
Tração perpendicular	10	50 mm x 50 mm
Compressão longitudinal	10	100 mm x 50 mm
Xilófago - térmitas de solo	5	25 mm x 75 mm
Inflamabilidade Vertical	10	128 mm x 12 mm
Inflamabilidade Horizontal	5	128 mm x 12 mm

Fonte: O autor.

A figura 51 mostra a origem da extração de cada CPs usado neste estudo.

Figura 51: Origem dos corpos-de-prova para ensaios.



Fonte: O autor.

3.2.8 Análise estatística

Os dados obtidos nos ensaios para determinar as propriedades físicas da flecha e do material reconstituído, bem como os dados do ensaio para verificar a capacidade mecânica e isolante do material reconstituído e também a degradação do painel foram tratados estatisticamente, e foram obtidas as médias das amostras, conforme a Equação 20.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (20)$$

Onde:

\bar{x} é a média das amostras;
 x é a propriedade do elemento i estudado;
 n é o número de elementos da amostras;

Também foi obtido o desvio padrão das amostras, segundo a Equação 21.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (21)$$

Onde:

S_x é o desvio padrão das amostras;
 x é a propriedade do elemento i estudado;
 \bar{x} é a média das amostras;
 n é o número de elementos da amostras;

E também, o coeficiente de variação das amostras foi calculado através da Equação 22.

$$\delta = \frac{S}{\bar{x}} \quad (22)$$

Onde:

δ é o coeficiente de variação da amostra;
 S é o desvio padrão da amostra;
 \bar{x} é a média das amostras;

Os dados estatísticos foram calculados com ajuda de planilha através do programa Microsoft Excel (2010).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Propriedades físicas do miolo da flecha de sisal

4.1.1 Umidade e densidade

Para este ensaio, adotou-se a metodologia presente na NBR 7190 (ABNT, 1997). A tabela 3 mostra os resultados obtidos nos ensaios de umidade e densidade para os 13 CPs do miolo da flecha de sisal ensaiados.

Tabela 3: Resultado do ensaio de umidade e densidade no miolo da flecha de sisal.

CP	M_i	M_s	$M_i - M_s$	u	M_{sat}	ρ_{ap}
N	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	2,67	2,41	0,260	10,79	24,92	0,108
2	2,46	2,18	0,280	12,84	21,38	0,128
3	3,55	3,14	0,410	13,06	28,36	0,131
4	3,84	3,42	0,420	12,28	30,32	0,123
5	3,27	2,93	0,340	11,60	31,62	0,116
6	3,19	2,85	0,340	11,93	30,41	0,119
7	3,88	3,45	0,430	12,46	30,96	0,125
8	3,05	2,73	0,320	11,72	28,27	0,117
9	2,37	2,10	0,270	12,86	27,34	0,129
10	3,61	3,24	0,370	11,42	29,12	0,114
11	3,07	2,75	0,320	11,64	25,14	0,116
12	2,51	2,22	0,290	13,06	21,97	0,131
13	2,09	1,86	0,230	12,37	19,87	0,124
Média	3,04	2,71	0,329	12,16	26,90	0,122

Fonte: O autor.

O valor médio obtido para a umidade do miolo da flecha de sisal foi de 12,16%, este valor está em acordo com o encontrado por Costa et al. (2019b), que foi de 12,13%. Este valor médio indica que o material está estabilizado com a umidade do ambiente, em processo similar ao observado em materiais lignocelulósicos lenhosos como as madeiras.

Em relação a densidade aparente do material, o valor encontrado neste estudo foi de 122 kg/m³. Costa et al. (2019b) citam o valor médio de densidade aparente de 212 kg/m³, em estudo que os autores consideraram o miolo e a casca na análise. O miolo da flecha representa em média 53% da massa da flecha, mesmo o miolo com-

preendendo 95% da seção transversal da flecha, para uma média de 10 cm de diâmetro e 5 mm de casca.

4.1.2 Inchamento e absorção do miolo da flecha

Para este ensaio, adotou-se a metodologia presente na NBR 14810-3 (ABNT, 2005) em que se observou o inchamento e absorção para 2 horas e 24 horas. Por não se ter estabilizado os corpos-de-prova após 24hs em relação ao inchamento e absorção, esta investigação se estendeu por mais 168 horas. Após este tempo verificou-se que os CPs ainda não estavam estabilizados.

A tabela 4 mostra os valores médios observados para os ensaios de inchamento e absorção. O ensaio determinou as massas e volumes dos CPs com 2 horas, 24 horas e 168 horas.

Tabela 4: Resultados do ensaio de inchamento e absorção.

CP	M1	M0	E1	E0	I_{2h}	I_{24h}	I_{168h}	A_{2h}	A_{24h}	A_{168h}
n	(g)	(g)	(cm ³)	(cm ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	13,12	2,41	18,89	17,97	3,48	3,42	5,12	86,52	160,30	391,39
2	11,69	2,18	18,97	18,33	3,16	3,74	3,49	108,54	195,12	375,20
3	15,43	3,14	19,77	19,20	3,05	3,12	2,94	100,56	166,76	334,65
4	16,05	3,42	21,13	20,24	4,52	4,27	4,37	88,02	135,16	317,97
5	14,87	2,93	21,06	24,27	2,86	3,95	3,92	76,76	129,36	354,74
6	14,23	2,85	20,77	20,03	3,30	3,30	3,72	73,35	108,46	346,08
7	15,66	3,45	21,24	20,45	3,30	3,67	3,86	75,26	130,67	303,61
8	12,58	2,73	20,24	19,48	2,31	2,75	3,88	65,57	107,87	312,46
9	13,65	2,1	21,29	20,68	1,45	2,71	2,97	135,44	225,74	475,95
10	15,14	3,24	20,42	19,64	2,70	4,25	3,97	85,04	126,04	319,39
11	13,91	2,75	20,12	19,46	3,01	3,73	3,42	113,03	177,85	353,09
12	12,44	2,22	18,51	17,85	2,77	3,45	3,70	117,53	196,41	395,62
13	11,19	1,86	20,19	19,48	2,34	2,82	3,70	119,14	207,18	435,41
Média	13,84	2,71	20,20	19,77	2,94	3,47	3,77	95,75	158,99	362,73

Fonte: O autor.

Através deste ensaio verificou-se que o miolo da flecha de sisal é um material de rápida absorção como visto nas leituras de 2hs e 24hs. Estes resultados estão em acordo com a natureza fibrosa do material, devido à organização da microestrutura e vazios presentes nos elementos anatômicos que o constituem. Silva et al. (2003) apontam que a origem orgânica dos materiais vegetais torna a estrutura desses elementos complexa e heterogênea, portanto, altamente higroscópica.

4.2 Propriedades químicas do miolo da flecha de sisal

Explorar a composição química dos constituintes do miolo da flecha de sisal é uma alternativa que auxilia na compreensão quanto ao comportamento isolante térmico do material desenvolvido. Visto que, durante a revisão bibliográfica, autores como Rbihi et al. (2019) e Hurtado et al. (2016) discutem sobre os teores desses constituintes e a influência na condutividade térmica dos materiais isolante.

A composição química do miolo da flecha de sisal expressa em porcentagem pode ser observada na tabela 5.

Tabela 5: Composição química do miolo da flecha de sisal.

<i>Propriedade</i>	<i>Extrativos em água</i>	<i>Cinzas</i>	<i>Lignina</i>	<i>Carboidratos</i>
Unidade	%	%	%	%
Média	3,80	1,43	8,45	61,3

Fonte: O autor.

Nos ensaios realizados através do Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa (2021) foram encontrados os seguintes dados para a composição química do miolo da flecha de sisal: lignina 8,45%, cinzas 1,43%, extrativos de água 3,80%. Martin et al. (2009), estudando a composição das folhas da *Agave sisalana*, constataram que o teor de lignina variou de 11,4% na base, passando por 10,7% e 8,1%, até 7,4% na extremidade, em relação a origem da amostra. Já o teor de cinzas encontrado foi de 1,5% para a primeira metade da folha, 0,8% em $\frac{3}{4}$ do comprimento e de 1,2% na parte final. O teor de celulose estimado pelos autores variou de 77,3% na base da folha, passando por 79,6% e 83%, até 84,4% na extremidade.

A tabela 6 apresenta uma síntese dos valores encontrados para o miolo de flecha de sisal e os valores encontrados por Martin et al. (2009) para a folha de sisal (estes últimos aqui usados como indicadores dos componentes químicos da planta).

Tabela 6: Composição química da folha e do miolo da flecha de sisal.

Propriedade	Valores determinado em ensaio			Estimado	Miolo de Flecha de sisal (Lab. de celulose e Papel – UFV)
	Extrativos em água	Cinzas	Lignina	Celulose,	
Unidade	%	%	%	%	
Média	3,80	1,43	8,45	50 a 80	

Continua.

Continuação da Tabela 6.

Variação	-	1,5	11,4	77,3	Folha de Sisal - Martin et al. (2009)
		0,8	10,7	79,6	
		1,2	8,1	83	
			7,4	84,4	
Média	-	1,17	9,4	80,43	

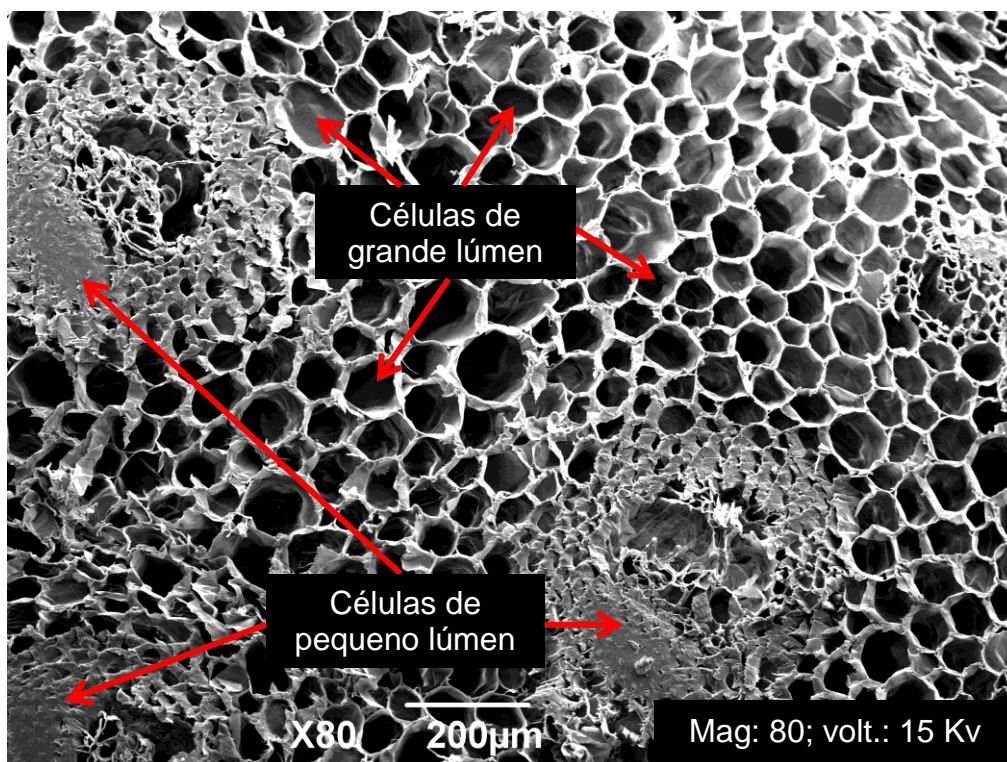
Fonte: Autor (2021).

Os valores de cinza e lignina do miolo da flecha de sisal encontrados nos ensaios realizados estão na mesma média de percentual dos valores encontrados por Martin et al. (2009) para a folha de sisal. A somatória dos valores da lignina e cinzas apresentado pelo autor citado é de 10,57%. Embora nesta composição não tenha sido considerado o valor de extrativos, a somatória dos percentuais de extrativos em água, cinzas, lignina encontrados neste estudo, totalizam 13,83% de material da composição do miolo da flecha de sisal, indicando que estão na mesma média dos valores apresentados por Martin et al. (2009). Materiais de origem vegetal, como as madeiras, apresentam em média 45% a 50% de celulose em sua composição química (KLOCK, 2013). A folha de sisal analisada pelos autores supracitados tem uma média de celulose de 80,43%. Os componentes que constituem a celulose são os carboidratos, e neste estudo verificou-se que 61,3% do material analisado eram carboidratos. Dentro deste contexto, o percentual de celulose na composição do miolo da vara de sisal está dentro da faixa de 50% a 80%.

4.3 Microestrutura do miolo da flecha de sisal

Para entender a microestrutura do miolo da flecha de sisal, bem como a possível interferência da transferência de calor devido à microestrutura do miolo, foram realizadas imagens através do microscópio eletrônico de varredura. A figura 52 mostra o miolo da flecha de sisal visto ortogonalmente em relação ao eixo longitudinal da flecha, sob um aumento de 80 vezes.

Figura 52: Vista transversal do miolo da flecha de sisal.

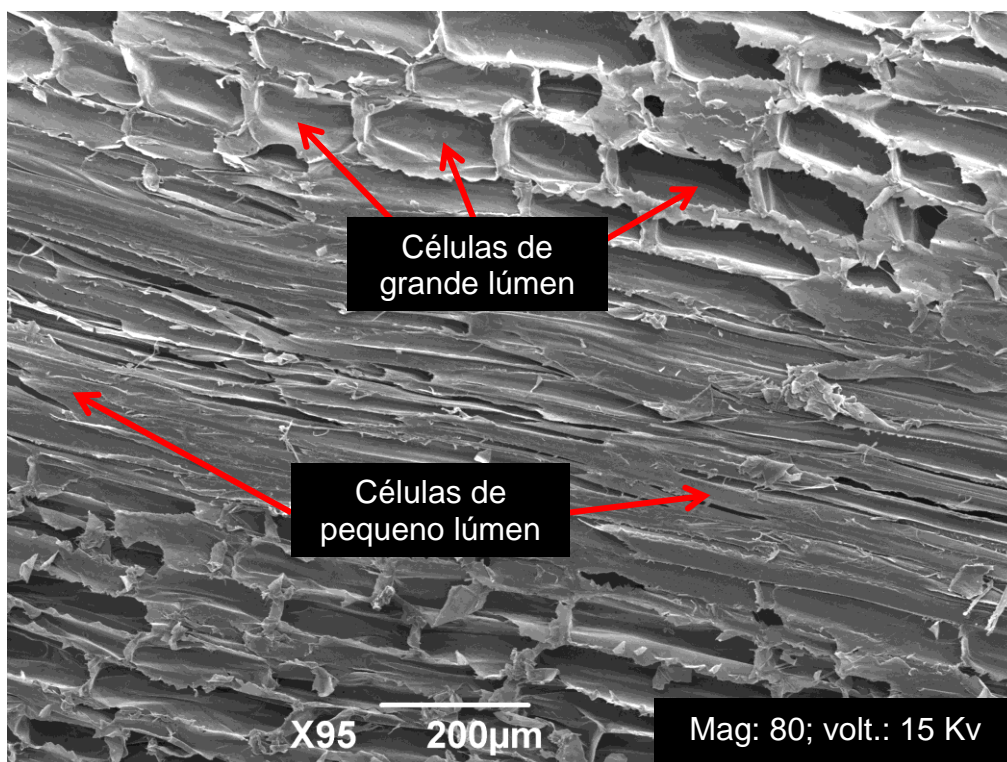


Fonte: O autor.

Na figura 52 pode-se observar os elementos anatômicos de grande e pequeno lúmen que compõem do miolo da flecha de sisal seccionado. É visível a distribuição randômica e a variabilidade no diâmetro dos elementos anatômicos, os quais se assemelham as células de madeira de grande lúmen e parede delgada como os vasos das folhosas e traqueides de primavera das coníferas. As células com pequeno lúmen e parede grossa também apresentam semelhanças com células de madeira de parede grossa e pequeno lúmen como os traqueides de inverno das coníferas.

A figura 53 mostra o miolo da flecha de sisal observado paralelamente ao eixo longitudinal sob o aumento de 95 vezes. Nesta captura podem ser observados os elementos anatômicos de grande e de pequeno lúmen e dispostos horizontalmente.

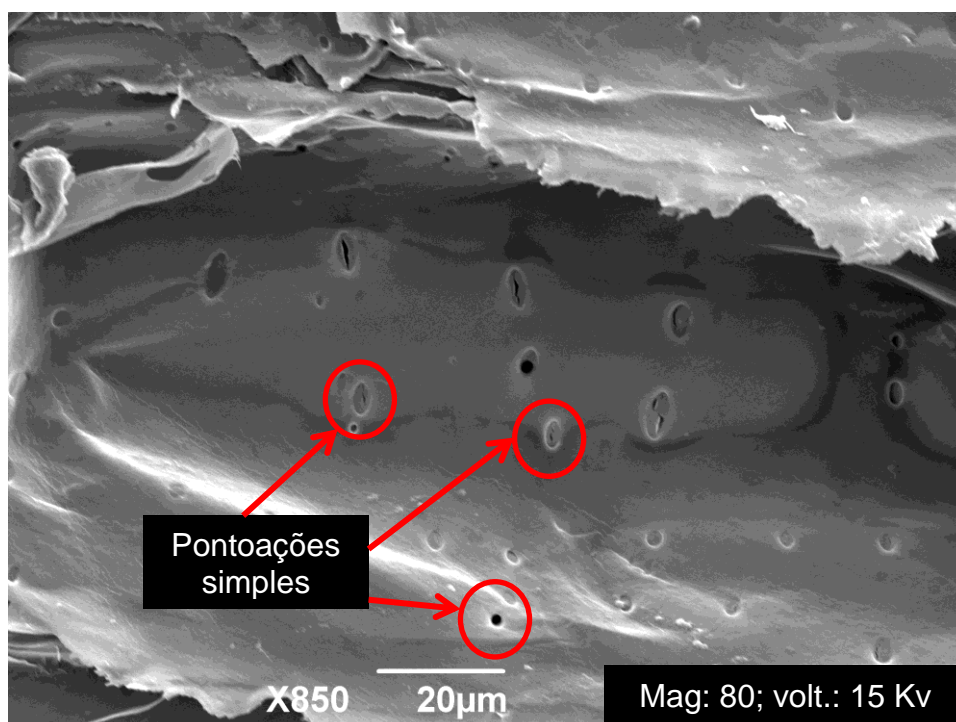
Figura 53: Vista longitudinal dos elementos anatômicos do miolo da flecha.



Fonte: O autor.

A figura 54 mostra a vista de um elemento anatômico de grande lúmen do miolo da flecha se sisal, observado sob um aumento de 850 vezes.

Figura 54: Vista de um elementos anatômico do miolo da flecha de sisal.



Fonte: O autor.

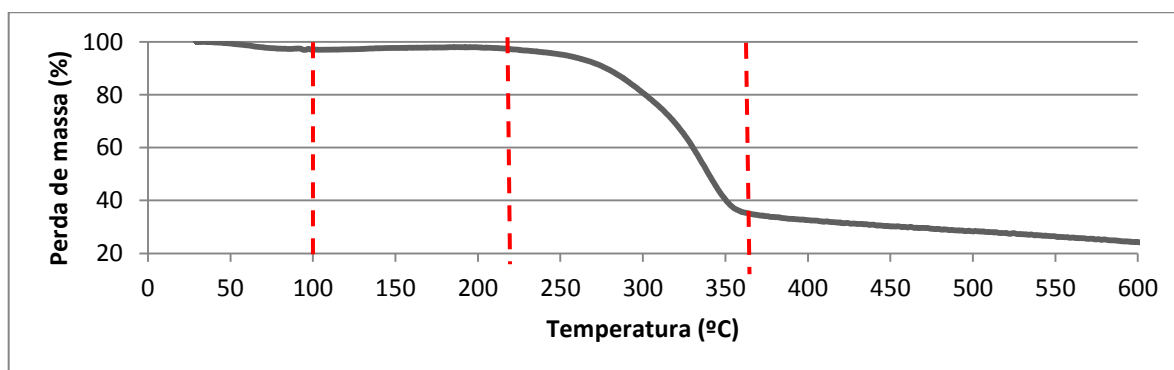
Na figura 54 pode-se observar perfurações distribuídas nas paredes das células do elementos anatômico que se assemelham as pontuações simples presentes nas células da madeira. Isto indica que, assim como nas células de madeiras, as trocas de fluidos entre as cavidades contíguas presentes ocorrem horizontalmente (MONTEIRO, 2014). Na direção vertical também se tem o fluxo de líquidos dentro do miolo da flecha de sisal.

Por predominar na constituição do miolo da flecha de sisal elementos anatômicos de grande lúmen e cuja parede das células são delgadas, quando viva a flecha os elementos anatômicos tem função de depósito de líquidos para a planta, quando seca depois de colhida os vazios das células da flecha se comportam como câmaras de ar, o que favorece ao isolamento térmico.

4.4 Degradação térmica do miolo da flecha de sisal

A análise do comportamento da degradação térmica pelo método da termogravimetria (TG) permite traçar uma curva que relaciona a perda de massa, expressa em porcentagem, em função do aumento de temperatura, segundo Pereira et al. (2013). Esta análise permite uma melhor compreensão quanto aos limites de empregabilidade da matéria-prima usada neste estudo, sob diferentes condições de temperatura. O gráfico 4 apresenta a curva termogravimétrica obtida para o ensaio realizado no miolo da flecha de sisal.

Gráfico 4: Termogravimetria do miolo da flecha de sisal.



Fonte: O autor.

O gráfico gerado é semelhante ao perfil de degradação verificado durante o estudo de outras espécies lignocelulósicas, como o eucalipto por Pereira et al. (2013),

sugerindo que os componentes básicos que constituem ambos os materiais são semelhantes.

É possível observar no gráfico 3 que no intervalo de 50 °C até 100 °C há uma redução de 2,4% em massa do material ensaiado. Este resultado está em acordo o observado por Pereira et al. (2013) que fizeram estudo da degradação térmica da madeira de eucalipto. Segundo os autores supracitados, a mudança de massa na degradação inicial é devido à perda de água de adesão presente na parede celular que demanda energia para ser removida. O gráfico 3 ainda evidencia que uma grande mudança na redução de massa se iniciou em aproximadamente 200 °C e prosseguiu até 360 °C, correspondendo à uma perda de aproximadamente 62,6% em relação a massa inicial. Outro trecho de mudança de massa é evidenciado entre 400 °C e 600 °C, que equivale a 7,7% da massa inicial.

Através dos achados de Yang et al. (2007) que realizaram a pirólise dos componentes químicos celulose, hemicelulose e lignina, os autores indicam que a degradação da hemicelulose ocorre entre 220°C a 315°C. Os mesmos autores concluem ainda que a degradação da celulose, composto mais abundante nos materiais lignocelulósicos, ocorre entre 300°C e 400°C. E por fim, os autores indicam que a degradação da lignina ocorre, desde o início da carbonização da madeira, até a aproximadamente 900 °C.

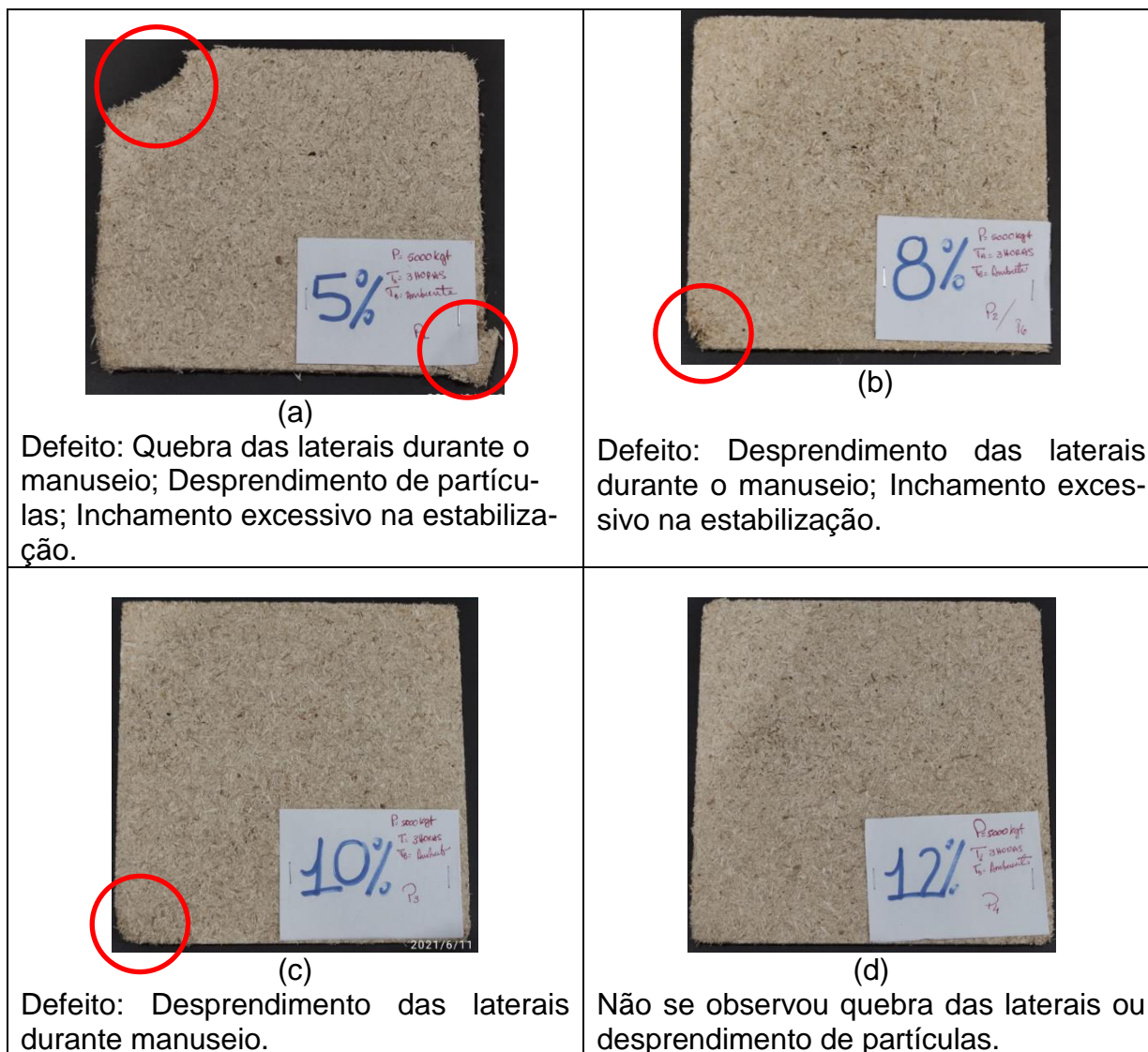
Foi observado que o miolo da flecha de sisal apresentou estabilidade quanto à degradação térmica até aproximadamente 200 °C, e a variação de massa constatada dentro deste intervalo está relacionada à perda de água. Entretanto, para aplicações do produto desenvolvido com finalidade residencial, a faixa de temperatura inferior a 50°C não apresentou grande interferência na retirada da água de adesão.

4.5 Estabilidade dimensional do painel de flecha de sisal

Uma das etapas do processo de produção dos painéis consistiu em testar a viabilidade da produção dos reconstituídos, utilizando-se variações dos teores de resina e das tensões de prensagem. Portanto, foram produzidos painéis com teores de 5%, 8%, 10% e 12% de resina poliuretana à base de mamona em relação a massa seca das partículas e tensões de prensagem de 1 MPa e 2 MPa e cura à frio sob prensagem de 3 horas, adotados a partir dos valores de referência de Iwakiri et al

(2005). A figura 55 mostra os painéis já aparelhados, produzidos com 1 MPa e teores de resina variando entre 5%, 8%, 10% e 12%. Na imagem é possível observar os defeitos que foram constatados, após o processo de produção dos painéis.

Figura 55: Perfil de painéis produzidos com 1MPa e teor de resina variável.



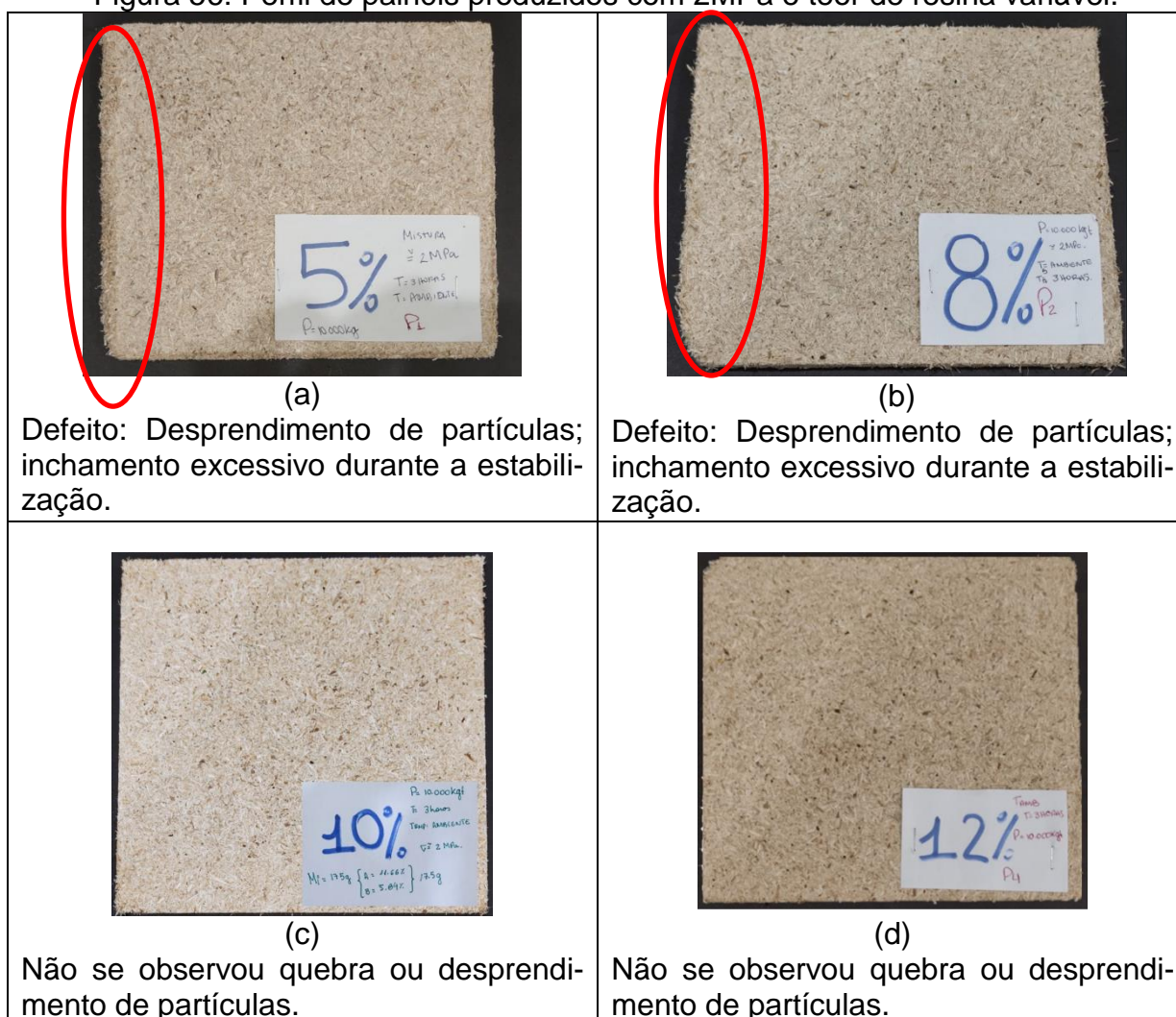
Fonte: O autor.

Dentre os objetivos específicos deste trabalho, o desenvolvimento do painel a partir do menor consumo de resina poliuretana à base de mamona teve especial atenção, em virtude do alto custo para emprego da resina. Entretanto, utilizando-se uma tensão de prensagem de 1 MPa, em 55(a) verificou-se que o consumo de resina somado ao processo manual adotado para produção foi insuficiente para manter as partículas agregadas, de forma que, o simples manuseio do painel provocou o desprendimento das partículas ou quebra, gerando os defeitos mostrados na figura

55. Além disso, também foi observado o inchamento do painel, durante o período de estabilização do painel e cura da resina.

De forma semelhante, em 55(b) observa-se que houve fácil desprendimento das partículas, mesmo após aparelhamento do produto. Já em 56(c), para o painel com 10% de resina, observou-se maior estabilidade quanto à aderência entre as partículas, porém foi constatado também o desprendimento de partículas na região de corte, provavelmente relacionado à presença de tensões. E, em 56(d) o painel com 12% de consumo de resina demonstrou a maior estabilidade entre os painéis produzidos para as condições supracitadas. A figura 56 mostra os painéis produzidos com estas configurações.

Figura 56: Perfil de painéis produzidos com 2MPa e teor de resina variável.



Fonte: O autor.

Objetivando o menor consumo de resina para minimizar os efeitos das pontes térmicas na condução de calor do produto final, foram produzidos painéis com tensão de prensagem de 2 Mpa, mas mantendo os teores de 5%, 8% 10% e 12% de resina poliuretana à base de mamona.

Foi observado que é possível a confecção de painéis com menores teores de resina e 2 MPa na tensão de prensagem, entretanto, em 56(a) e 56(b) foi constatada a desagregação das partículas, indicando que o processo manual e o teor de resina adotados não foram suficientes para manter a estabilidade do produto. Já em 56(c) o painel com 10% de resina mostrou boa estabilidade, durante o manuseio, e, mesmo após a aparelhagem, não apresentou desagregação das partículas. Em 56(d) observa-se o painel produzido com 12% de consumo de resina, que também demonstrou boa estabilidade mesmo após ter sido aparelhado. Através destas análises adotou-se o teor de resina de 10%, tensão de prensagem de 2 MPa e tempo de prensagem de 3 horas sob temperatura ambiente, para os painéis ensaiados neste estudo.

4.6 Propriedades físicas dos painéis reconstituídos

4.6.1 Umidade e densidade

As propriedades de umidade e densidade são características básicas, quando analisado o desempenho de painéis reconstituídos. A NBR 14810-1 (ABNT, 2002) determina que as características básicas de painéis reconstituídos podem ser adaptadas às necessidades e aos usos finais destes materiais.

De acordo com Lacombe (2015), os materiais que compõem os painéis, as matérias-primas, precisam estar em acordo para que não haja umidade excessiva no produto final. A NBR 14810-2 (ABNT, 2002) determina que o teor de umidade médio das chapas de madeira aglomerada não deve ser menor que 5% e nem maior que 11%, e que dentro de um mesmo lote, a variação de umidade não deve ser superior a 3%.

Embora no presente trabalho se tenha usado o miolo da flecha do sisal e não madeira para a confecção dos painéis, optou-se pela manutenção dos requisitos exigidos quanto a umidade pela NBR 14810-2 (ABNT, 2002). A tabela 7 mostra os

dados de umidade obtidos para os painéis produzidos utilizando-se o miolo da flecha de sisal.

Tabela 7: Teores de umidade do painel de flecha de sisal.

PAINEL	UMIDADE
Nº	%
1	12,7
2	12,9
3	13,2
4	12,9
5	13,1
6	12,7
7	12,7
8	12,6
9	13,0
10	12,8
Média	12,8
Desv. Padrão	0,19
Coef. De Var.	0,015

Fonte: O autor.

É possível observar que o valor médio para umidade obtido para os painéis de miolo de flecha de sisal está acima do limite estabelecido pela NBR 14810-2 (ABNT, 2002). Ademais, foi verificado que o valor medido para umidade dentro o lote estudado não excedeu o limite de 3%, conforme estabelecido pela NBR 14810-2 (ABNT, 2002). Além disso, o emprego da resina poliuretana à base de mamona, com o teor de 10% em relação à massa seca das partículas, não alterou a absorção média de umidade até a umidade de estabilização registrada, após 72 horas da confecção dos painéis. A umidade média para o miolo da flecha de sisal foi de 12,15%, enquanto para os painéis a umidade média foi de 12,8%.

A densidade de painéis reconstituídos é outra característica fundamental e utilizada para classificação quanto às propriedades aceitáveis para um novo painel produzido. Segundo as condições da NBR 14810-2 (ABNT, 2002), painéis cuja densidade média esteja situada entre 551 kg/m³ e 750 kg/m³ são classificados como chapas de madeira aglomerada de média densidade. Painéis cuja densidade média esteja situada fora deste intervalo são classificados conforme painéis de baixa densidade até 550 kg/m³ ou painéis de alta densidade quando superiores a 750 kg/m³.

A tabela 8 mostra os resultados da densidade obtida para os painéis desenvolvidos para este estudo.

Tabela 8: Densidade dos painéis de miolo flecha de sisal.

PAINEL	DENSIDADE
Nº	Kg/m³
1	429,7
2	380,3
3	369,2
4	449,1
5	422,9
6	457,4
7	403,3
8	447,0
9	422,0
10	416,6
Média	419,8
Desv. Padrão	28,92
Coef. De Var.	0,069

Fonte: O autor.

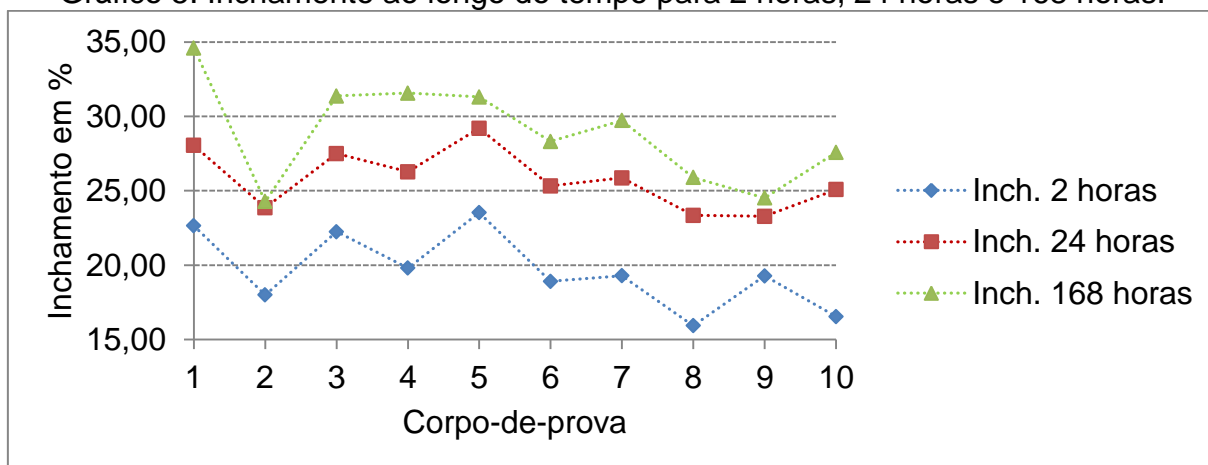
O valor de densidade médio encontrado indica que o painel produzido a partir do miolo da flecha de sisal pode ser classificado através da NBR 14810-2 (ABNT, 2002) como painel de baixa densidade. Como demonstrado por Asdrubali et al. (2015), os valores de densidade variam conforme a natureza da matéria-prima adotada para produção do reconstituído. Cascas, talos e demais resíduos vegetais utilizados para produção de materiais reconstituídos possibilitarão a produção de painéis com características relacionadas à matéria-prima e criam influência sobre estas características, sobretudo devido à composição química destes elementos.

4.6.2 Inchamento

O inchamento é uma característica relevante para a análise da qualidade de materiais reconstituídos e a estabilidade destes produtos, quando em contato com umidade elevada ou contato direto com a água. Segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2002), o inchamento é uma variação percentual de aumento em espessura que um corpo-de-prova de chapa de madeira aglomerada apresenta, após ficar submerso pelo tempo de 2 horas \pm 3 minutos e 24 horas \pm 3 minutos.

De acordo a NBR 14810-2 (ABNT, 2002), para que painéis reconstituídos com espessuras entre 8 e 13 milímetros sejam classificados como painéis de média densidade, o inchamento máximo para o intervalo de 2 horas não deverá exceder 8%. O gráfico 5 mostra que o inchamento dos corpos de prova não foi homogêneo durante a execução do ensaio.

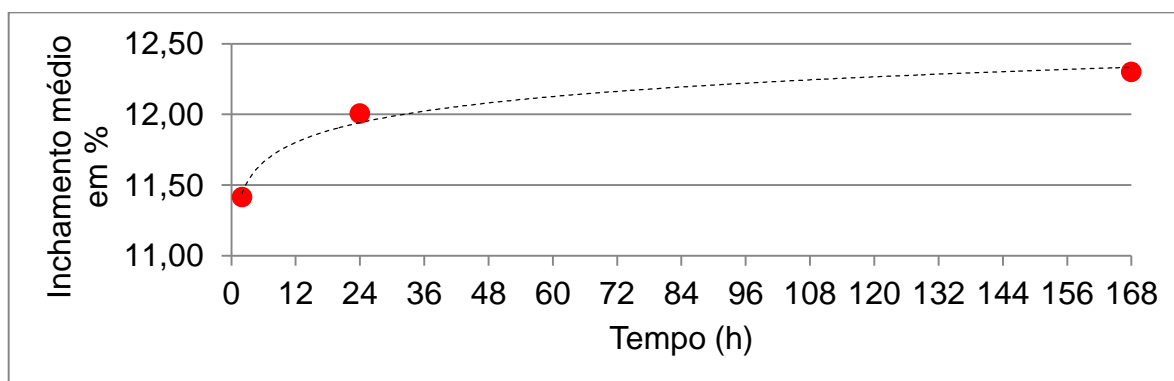
Gráfico 5: Inchamento ao longo do tempo para 2 horas, 24 horas e 168 horas.



Fonte: O autor.

O gráfico 6 mostra a curva aproximada dos valores médios de inchamento em 2 horas, 24 horas e 168 horas. Observa-se que a maior taxa de absorção média ocorreu entre 2 horas e 24 horas, e que o valor médio para 2 horas de ensaio, excedeu o limite de 8% encontrado na NBR 14810 (ABNT, 2005). Os dados encontrados indicam que o painel estudado não pode ser utilizado em ambiente externo em virtude do seu alto valor de inchamento encontrado.

Gráfico 6: Curva do inchamento registrado para os CPs ensaiados.



Fonte: O autor.

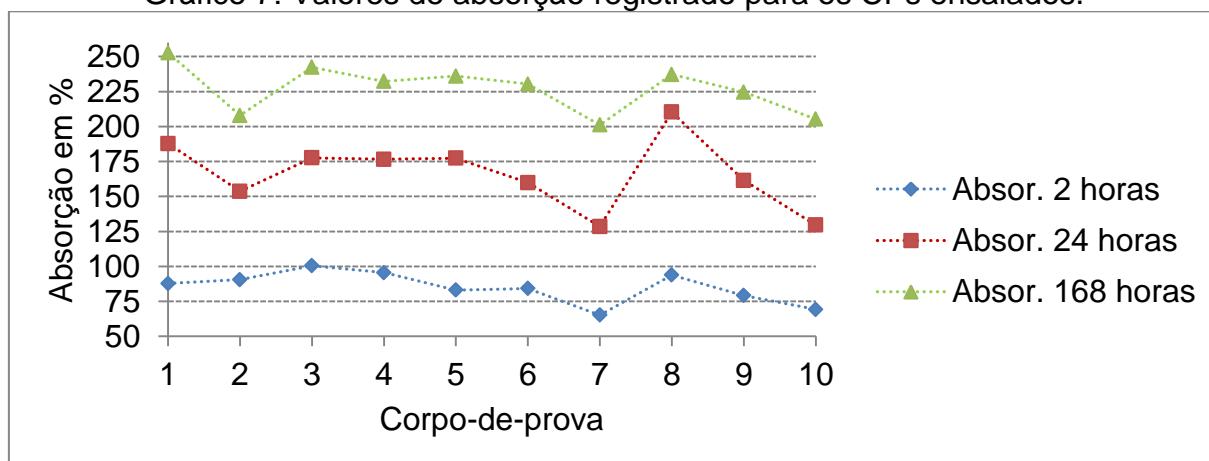
De Barros Filho et al. (2011) encontraram valores de inchamento médio de 15,59% após 2 horas para painéis com bagaço da cana, e de 36,20% após 24 horas. Já Azizi et al. (2011) usando talos de trigo, encontraram valores de inchamento de 23% para 2 horas, e 32% para 24 horas. OH e Lee (2012) com resíduos de trigo, apontaram valores de 12% para 2 horas e 32,7% em 24 horas para inchamento.

4.6.3 Absorção

A absorção é outro critério relevante quando se analisam painéis reconstituídos. Esta propriedade também está relacionada diretamente ao contato com umidade elevada ou água. Segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2002), a absorção de água é o aumento em massa que um corpo-de-prova de uma chapa de madeira aglomerada apresenta após ser inserido em água, pelos intervalos de tempo de 2 horas e 24 horas. Analogamente à absorção, também foram realizadas medidas para o intervalo de 168 horas, devido a presença de poucos destes registros na literatura.

Ao contrário do inchamento, a NBR 14810-2 (ABNT, 2002) não determina o valor limite para taxa de absorção de um painel reconstituído. Contudo, esta característica é relevante, pois está diretamente relacionada ao aumento de massa que um corpo-de-prova pode absorver quando em contato com a água. Os pontos de dispersão no gráfico 7 demonstram os valores de absorção registrados durante 2 horas, 24 horas e 168 horas de ensaio. Percebe-se que nas primeiras 2 horas, o inchamento entre as amostras manteve linearidade que não foi verificada após 24 horas de ensaio.

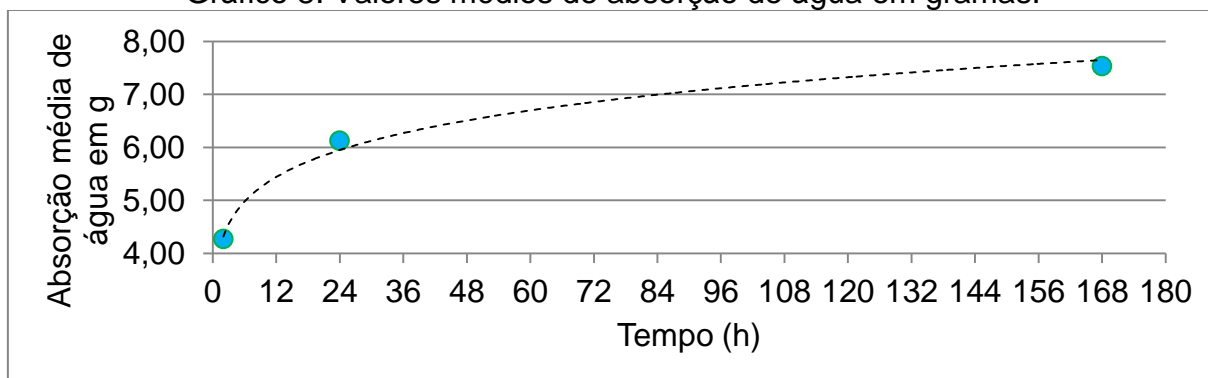
Gráfico 7: Valores de absorção registrado para os CPs ensaiados.



Fonte: O autor.

Usando resíduos do café e serragem de eucalipto Scatolino et al. (2017) encontram absorção de 120,54% em 2 horas e 138,08% em 24 horas. Yeniocak et al. (2014) usando podas de videira encontraram 99,2% para 2 horas e 121,4% para o intervalo de 24 horas. O gráfico 8 mostra os valores médios de absorção de água registrados ao longo do ensaio. É possível verificar que, analogamente ao inchamento, a maior taxa de absorção é verificada nas primeiras 24 horas de ensaio.

Gráfico 8: Valores médios de absorção de água em gramas.



Fonte: O autor.

Silva et al. (2003), discute que é inerente a natureza dos materiais vegetais a elevada higroscopicidade, o que pode afetar características como as resistências e a durabilidade. Os valores para os parâmetros ensaiados foram maiores do que os verificados por Lacombe (2015), que empregou outros materiais vegetais de origem madeireira em um estudo semelhante. Além da superior densidade da matéria prima utilizada pela autora, as tensões empregadas no estudo de Lacombe (2015) foram superiores, o que pode interferir diretamente nas propriedades do material desenvolvido conforme Iwakiri et al. (2005) e a NBR 14810-3 (ABNT, 2002).

Além disso, como observado no item 4.3, a grande presença de vazios, e a baixa densidade da matéria-prima, em torno de 122 kg/m^3 verificada no item 4.1, estão diretamente relacionadas às propriedades de inchamento e absorção aqui estudadas. Pois, durante a imersão das amostras conforme a NBR 14810-3 (ABNT, 2002), o ar é expulso do interior dos elementos anatômicos do miolo da flecha de sisal e permite a entrada da água. A propriedade de absorção é de interesse especial em virtude da elevada higroscopicidade de materiais vegetais, visto que o contato com água pode impactar a geometria do material desenvolvido, devido à retração e o intumescimento (SILVA et al., 2013).

4.7 Propriedades mecânicas dos painéis reconstituídos

A estabilidade dos painéis quando submetidos às solicitações de uso também precisou ser estudada para se compreender os limites de emprego do novo painel. A NBR 14810-2 (ABNT, 2002) determina os limites para classificar o painel de acordo a espessura deste, sugerindo as resistências adequadas.

4.7.1 Flexão estática (MOR e MOE)

4.7.1.1 Módulo de Ruptura - MOR

A NBR 14810-2 (ABNT, 2002) determina que a resistência mínima para flexão estática MOR deverá ser de 16 MPa, para painéis reconstituídos que tenham espessura entre 8 mm e 13 mm. A tabela 9 mostra os resultados obtidos para o módulo de ruptura (resistência) dos painéis desenvolvidos neste estudo.

Tabela 9: Resultados obtidos para o módulo de ruptura dos painéis.

CP nº	Área mm ²	Ruptura N	MOR MPa
1	569,60	141,66	3,14
2	487,52	150,77	4,57
3	441,28	123,39	4,56
4	483,20	162,17	5,00
5	488,16	202,81	6,13
6	480,80	162,16	5,05
7	439,20	195,07	7,28
8	491,52	129,94	3,87
9	477,60	139,51	4,40
10	438,08	223,69	8,39
Média			5,24
Desv. Padrão			1,59
Coef. De Var.			0,30

Fonte: O autor.

Yeniocak et al. (2014) usando podas de videira encontraram valores médios de MOR de 7,96 MPa, Scatolino et al. (2017) encontraram valor médio de 8,17 MPa. Já usando o bagaço da cana de açúcar, de Barros Filho et al. (2011) encontraram 4,59 MPa para o valor de MOR. Esta verificação teve como objetivo compreender os limites de aplicação do novo produto, o resultado médio obtido de 5,24 MPa indica uma grande possibilidade de deformação do material desenvolvido.

4.7.1.2 Módulo de elasticidade - MOE

Para a verificação do MOE, a NBR 14810-2 (ABNT, 2002) não sugere valores de resistência mínima. Analogamente ao MOR, esta propriedade foi verificada para se compreender os limites de emprego do novo material desenvolvido. A tabela 10 mostra os resultados dos valores de resistência do MOE atingidos pelo painel desenvolvido.

Tabela 10: Resultados obtidos para o módulo de elasticidade dos painéis.

CP nº	Área mm ²	Ruptura N	MOE MPa
1	569,60	141,66	85,07
2	487,52	150,77	100,60
3	441,28	123,39	213,70
4	483,20	162,17	198,07
5	488,16	202,81	168,21
6	480,80	162,16	162,54
7	439,20	195,07	159,98
8	491,52	129,94	126,05
9	477,60	139,51	135,09
10	438,08	223,69	125,61
Média			147,49
Desv. Padrão			40,74
Coef. De Var.			0,28

Fonte: O autor.

O valor médio para o MOE encontrado foi de 147,49 MPa, indicando uma grande possibilidade de deformação do material desenvolvido antes de atingir a ruptura. Este resultado está em acordo a natureza do produto desenvolvido, observada a baixa densidade aparente do miolo da flecha de sisal (122 kg/m³) e o processo simplificado para produção do painel. Na literatura, o menor valor verificado de MOR foi de 648,62 MPa encontrado por Scatolino et al. (2017) que usaram resíduos de café e serragem de eucalipto para produção do reconstituído.

Os corpos-de-prova utilizados para determinação do MOR e MOE não apresentaram ruptura. O comportamento dos CPs foi mais próximo à deformação elasto-plástica, com retorno gradual dos CPs após a liberação da carga, porém não retornando ao formato inicial. Até o limite de deformação estabelecido por limitações do aparelho não foram verificadas fissuras nas faces tracionadas dos CPs após o en-

saio, e também não foi constatado o esmagamento das fibras na face comprimida. A figura 57(a) mostra o CP de painel reconstituído, no qual é possível observar a curvatura após ensaio de flexão estática e figura 57(b) mostra a face tracionada do CP livre de fissuras.

Figura 57: Vista do corpo-de-prova após ensaio de flexão estática.

(a) - Vista lateral do corpo de prova mostrando a curvatura após ensaio.



(b) - Vista face tracionada do corpo de prova mostrando a curvatura após ensaio.



Fonte: O autor.

Os valores médios encontrados para MOR e como também o MOE são inferiores aos valores médios verificados na literatura, como os achados por Baldin et al. (2016) e Lacombe (2005). Entretanto, as resistências aqui foram conhecidas para entender os limites de utilização do material, pois os valores inferiores para MOR e MOE eram esperados, em virtude das características de confecção adotada serem simplificadas em relação aos trabalhos publicados pelos autores supracitados, a exemplo da menor tensão de prensagem.

Ainda segundo Baldin et al. (2016) o desempenho inferior observado está diretamente relacionado à baixa resistência da matéria-prima utilizada. Mais também, segundo o autor, deixo a baixa densidade da matéria-prima faz-se necessário o emprego de um volume maior do material para se atingir uma determinada densidade preestabelecida, fazendo com que se reduza a quantidade de resina por partícula.

4.7.2 Tração perpendicular

A norma brasileira NBR 14810-2 (ABNT, 2002), indica que a resistência à tração perpendicular mínima para painéis com espessura entre 8 mm e 13 mm deverá ser de pelo menos 0,40 MPa. A tabela 11 apresenta os resultados da resistência à tração perpendicular, obtidos para o ensaio no painel desenvolvido.

Tabela 11: Resultados obtidos para tração perpendicular.

CP nº	Área mm ²	Carga N	Tensão MPa
1	2399,53	98,14	0,04
2	2337,24	231,97	0,10
3	2365,36	493,88	0,21
4	2388,28	295,16	0,12
5	2375,10	642,57	0,27
6	2377,54	303,19	0,13
7	2387,79	330,04	0,14
8	2358,56	382,07	0,16
9	2374,13	249,28	0,10
10	2347,40	241,62	0,10
Média			0,14
Desv. Padrão			0,06
Coef. De Var.			0,46

Fonte: O autor.

A resistência à tração perpendicular média obtida para o painel desenvolvido foi de 0,14 MPa. Observou-se que todos os CPs ensaiados romperam fora da linha de cola, entre as faces do painel e do material utilizado. A figura 58 mostra o CP 4 após ensaio de tração e é possível verificar a região de ruptura.

Figura 58: Corpo-de-prova após ruptura no ensaio de tração.



Fonte: O autor.

Para estes resultados, o comportamento verificado por Baldin et al. (2016) pode estar interferindo nas propriedades mecânicas do material desenvolvido, em virtude do menor teor de resina em relação a quantidade de matéria-prima utilizada. Estes resultados são inferiores aos encontrados por Lacombe (2005), Sartori et al. (2012) e Keskin et al. (2015). Contudo, os autores empregaram resíduos madeireiros com teores de materiais vegetais em substituição a madeira.

4.7.3 Compressão paralela

A norma brasileira também não determina valores mínimos de resistência para a propriedade de compressão paralela em painéis reconstituídos. Portanto, esta análise faz parte da caracterização do produto desenvolvido, no qual buscou-se conhecer o seu desempenho nesta propriedade. A tabela 12 mostra os valores da resistência à compressão paralela obtidos para o painel de miolo de flecha de sisal desenvolvido.

Tabela 12: Resistência à compressão paralela do painel de flecha.

CP nº	Área mm ²	Carga N	Tensão MPa
1	459,73	587,98	1,28
2	536,18	609,35	1,14
3	510,10	443,88	0,87
4	485,20	703,37	1,45
5	470,92	512,41	1,09
6	509,95	688,48	1,35
7	519,50	459,95	0,89
8	525,27	730,47	1,39
9	646,29	649,81	1,01
10	511,41	460,4	0,90
Média			1,14
Desv. Padrão			0,22
Coef. De Var.			0,19

Fonte: O autor.

Neste ensaio, observou-se que todos os CPs sofreram encurtamento, que pode estar relacionado ao preenchimento dos vazios pelas partículas devido a compressão. Este tipo de ruptura se caracteriza como ruptura plástica decorrente da compressão paralela. A figura 59 exemplifica dois CPs, na qual se observa a região de dobra, após o ensaio de compressão.

Figura 59: Corpo-de-prova após encurtamento no ensaio de compressão.



Fonte: O autor.

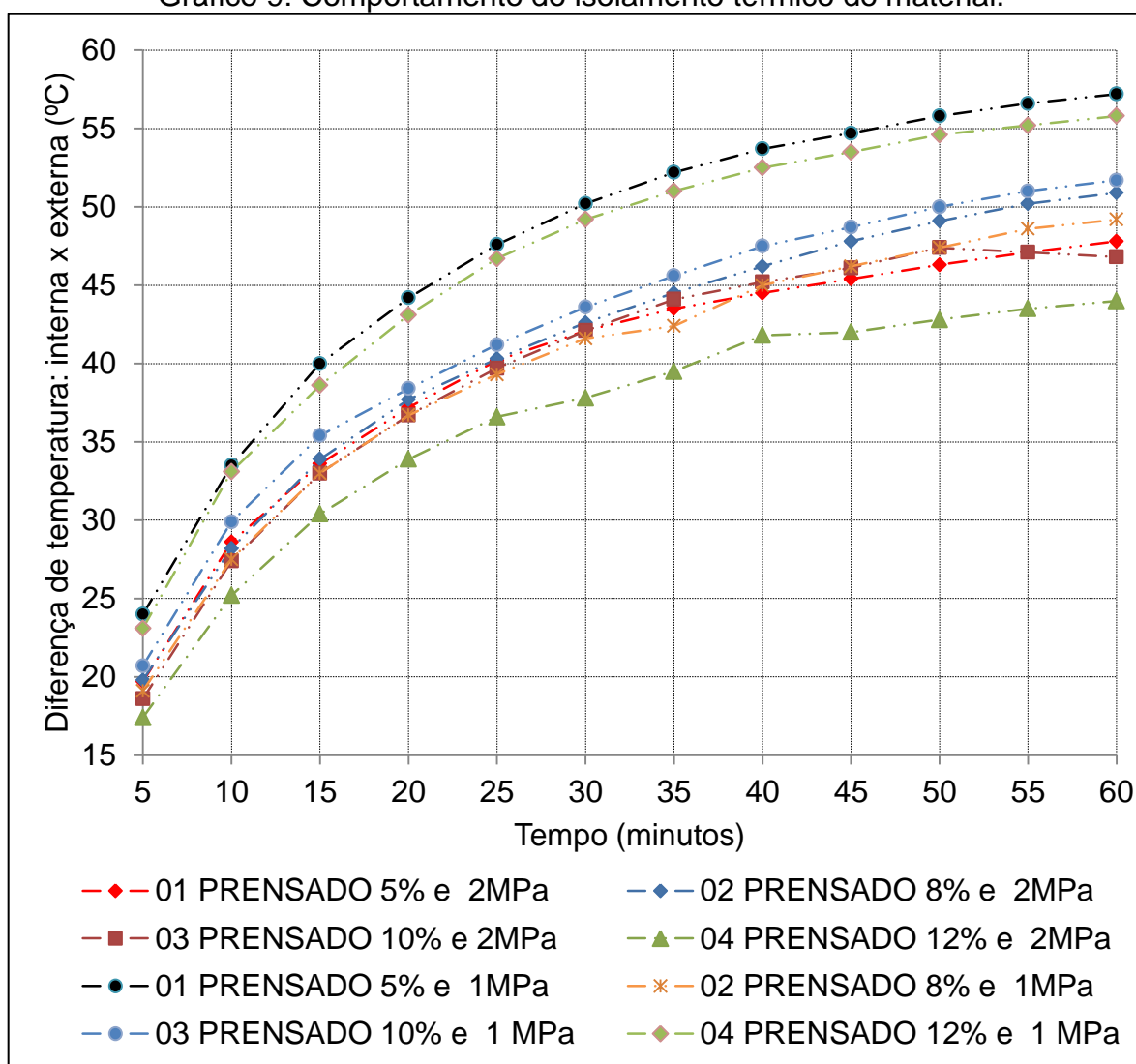
O aumento de resistência a compressão paralela pode ser alcançado com o aumento de aditivo a mistura e otimização do processo de produção, como descrito por Iwakiri et al (2005). Todavia aumentar o volume de aditivo implica em maior custo para o produto e poderá diminuir a eficiência do painel como isolante térmico.

4.8 Propriedades térmicas dos painéis reconstituídos

4.8.1 Isolamento térmico

A capacidade de isolamento térmico do material desenvolvido foi testada sob a metodologia descrita por Oliveira et al. (2015). Diferentes materiais isolantes têm diferentes comportamentos, quando submetidos ao estresse térmico. Para testar o painel com melhor desempenho quanto à capacidade de isolamento térmico, foram ensaiados os painéis reconstituídos do miolo da flecha de sinal produzidos com teores de resina de 5%, 8%, 10% e 12% e prensados com tensão de 1 MPa e 2 MPa. O gráfico 9 apresenta os dados do ensaio no qual se verificou a diferença de temperatura entre as faces interna e externa do material isolante, quando submetido à fonte de calor em uma das faces e a outra estava no interior do ambiente simulado.

Gráfico 9: Comportamento do isolamento térmico do material.



Fonte: O autor.

Os resultados encontrados indicam que os painéis confeccionados a partir do miolo da flecha do sisal, utilizando-se 5%, 8%, 10% e 12% do teor de resina poliuretana à base de mamona e 1 MPa de tensão de prensagem, obtiveram maiores diferenças de temperatura entre as faces ensaiadas. Entretanto, os painéis produzidos com menor tensão de prensagem apresentaram menor estabilidade, desagregação das partículas e maiores taxas de inchamento durante a fase de estabilização. Portanto, estes painéis não mantiveram a espessura de 10 mm preestabelecida, favorecendo o desempenho isolante neste ensaio.

De forma semelhante, os painéis produzidos com teores de 5%, 8% do teor de resina e 2 MPa de tensão de prensagem não demonstraram inchamento durante o

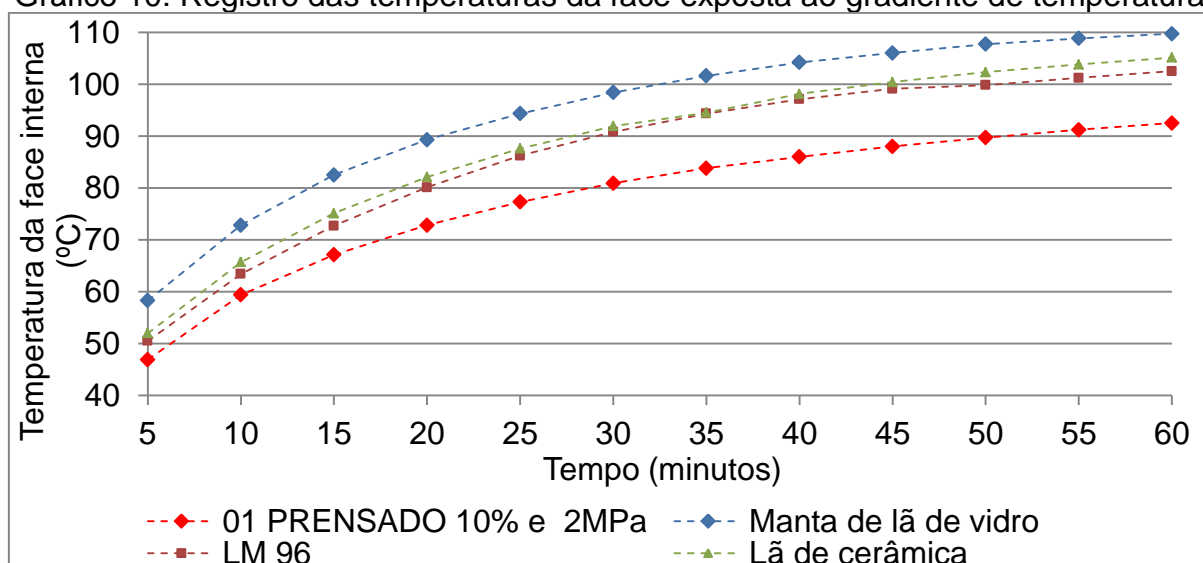
período de estabilização, mas apresentaram desagregação das partículas, comprometendo a estabilidade dimensional do produto proposto.

No gráfico 8 ainda é possível observar que existe relação entre o consumo de resina na produção dos painéis e a tensão de prensagem adotada no desempenho da capacidade isolante do material desenvolvido. Conforme esperado, os resultados sugerem que o maior teor de resina permite também maior propagação de calor através do material, tornando o isolamento térmico menos eficiente.

Os resultados indicam ainda que o painel de miolo de flecha de sisal, produzido com 10% de teor de resina poliuretana à base de mamona e sob tensão de prensagem de 2 MPa, por 3 horas a temperatura ambiente, apresentam capacidade isolante térmica semelhante aos painéis produzidos com menores teores de resina, utilizando a mesma tensão de prensagem, nos primeiros 45 minutos de exposição ao calor.

Uma segunda análise para o mesmo ensaio buscou compreender o aquecimento da face exposta ao gradiente de temperatura ao longo do tempo. A análise foi realizada entre o painel produzido a partir do miolo da flecha de sisal, a lã de vidro aluminizada LM 96, a manta de lã de vidro com 50 mm de espessura e a lã de cerâmica também com 50 mm de espessura. Os dados obtidos durante a realização deste ensaio podem ser vistos no gráfico 10.

Gráfico 10: Registro das temperaturas da face exposta ao gradiente de temperatura.



Fonte: O autor.

Os resultados indicam que o painel produzido a partir do miolo da flecha de sisal obteve menor aumento de temperatura ao longo do tempo na face exposta ao gradiente de temperatura, quando comparado aos demais materiais ensaiados. Este resultado pode indicar que o painel de flecha de sisal e resina poliuretana à base de mamona tem menor coeficiente k de condutividade térmica e maior capacidade calorífica que os materiais ensaiados, visto que foi necessária maior temperatura incidente na face exposta para elevação da temperatura do material estudado.

4.8.2 Condutividade térmica

Para determinação do coeficiente k de condutividade térmica, a NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005) determina através do método descrito que seja adotado o coeficiente do fluxo de calor q para um material de condutividade térmica conhecida. Outra especificidade desta norma diz respeito à temperatura utilizada no método da placa quente protegida, para determinação do fluxo de calor q . A NBR 15220 – 4 (ABNT, 2005) determina ainda que a temperatura utilizada no processo deva ser próxima às condições de uso do material estudado. O material com coeficiente de condutividade térmica conhecida utilizado no ensaio foi a manta de fibra de vidro com 50 mm de espessura e condutividade térmica λ de 0,038 W/(mk) a 50 °C.

A condutividade térmica média estimada para os CPs tipo A, feitos com 3 painéis sobrepostos de 10 mm de espessura cada, foi de $k = 0,0251$ W/m.k. Já a média para os CPs tipo B, já produzidos com 30 mm de espessura, foi de $k = 0,0243$ W/m.k. Estes valores de condutividade térmica indicam boa capacidade de isolamento térmico do material desenvolvido, tanto para sobreposição de painéis de 10 mm de espessura, quanto para painéis produzidos com espessura de 30 mm.

De acordo com Asdrubali et al. (2015), para ser considerado um bom isolador térmico, a condutividade térmica de um material deverá ser menor ou igual a 0,07 W/(m.k). Os resultados encontrados para os valores médios de condutividade térmica k dos painéis desenvolvidos estão abaixo dos valores médios verificados para materiais de origem vegetal utilizados para isolamento, cuja condutividade térmica k está situada entre 0,039 W/(m.k) e 0,07 W/(m.k) (DA SILVA, 1996).

O comportamento de baixa condutividade térmica observado neste ensaio pode estar relacionado à composição do material e a estrutura anatômica da espécie

utilizada. A análise microestrutural demonstrou que o miolo da flecha de sisal apresenta grandes vazios, que por sua vez, após a flecha secar, ficam preenchidos com ar.

A condutividade térmica do ar atmosférico é descrita por Shackelford (2015) citando Gaskell (2013) com valores de 0,01 J/(smk) a 100 °K até 0,1 J/(smk) com 1500 °K. Kim et al. (2012) apresenta valores de 0,02 a 0,03 W/(mk) para a condutividade térmica do ar, que parecem estar avaliados sob temperatura ambiente. Pois, segundo Çengel & Ghajar (2015) a condutividade térmica do ar a 50 °C e 1 ATM é de 0,02735 W/(mk). Por outro lado, a condutividade térmica da celulose é descrita também por Çengel & Ghajar (2015) como situada entre 0,039 e 0,046 W/(mk). Já Rbihi et al. (2019) apresenta o valor de 0,0339 W/(mk) para a condutividade térmica da celulose.

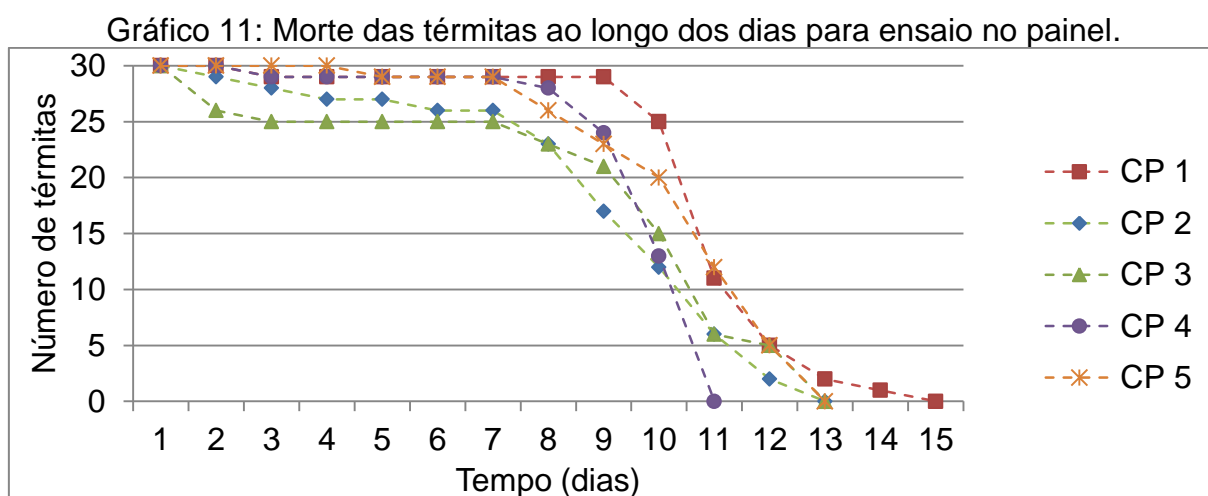
Os valores encontrados para condutividade térmica do painel desenvolvido demonstram o comportamento do compósito como material isolante. A elevada presença de elementos anatômicos com grande lúmen observados através da análise microscópica, que estão preenchidos com ar no interior do miolo da flecha de sisal, e a paredes das células constituídas por celulose e lignina, contribuem para dificultar o processo de convecção do ar e de condução de calor.

Outro aspecto do baixo valor observado para a condutividade térmica do painel estudado, mesmo comparado aos materiais lignocelulósicos usados para isolamento térmico, pode estar relacionado à temperatura adotada para o desenvolvimento do estudo como apresentado na figura 4 do capítulo 2. Pois, o aumento da temperatura de um corpo influencia também no aumento da condutividade térmica deste, como observado nas curvas de condutividade térmica de materiais isolantes tradicionais como a lã de rocha Thermax PSR – 160 (MADEL, 2021). Além disso, como discutido no capítulo 2 por Callister J. e Rethwisch et al. (2012), o fluxo de calor tem relação direta com a condutividade térmica, portanto, quanto maior energia dentro de um sistema, maior também será a condução de um material, conforme a equação 1 apresentada no capítulo 2.

4.9 Propriedades de degradação do painel de flecha de sisal

4.9.1 Degradação biológica

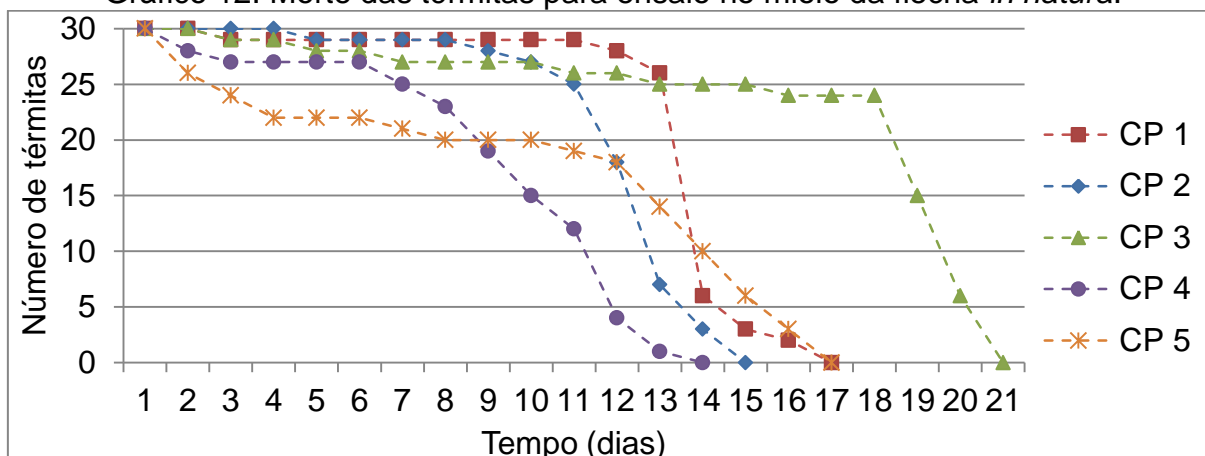
A determinação da degradação do painel reconstituído do miolo da flecha de sisal pela térmita de solo da espécie *Nasutitermes corninger* foi realizada, após 2 semanas do início do ensaio. Para o miolo da flecha de sisal *in natura*, a verificação ocorreu, após 3 semanas da data inicial do ensaio. O gráfico 11 mostra a curva de morte das térmitas que foram retiradas do interior dos petri ao longo da realização do ensaio.



Fonte: O autor.

Para os painéis reconstituídos, observou-se que houve uma grande redução na população de térmitas de solo, após o oitavo dia do início do ensaio. No 15º dia, verificou-se que não havia mais cupins vivos no interior das amostras estudadas. A média de redução em massa dos CPs do painel reconstituído foi de 2,28%.

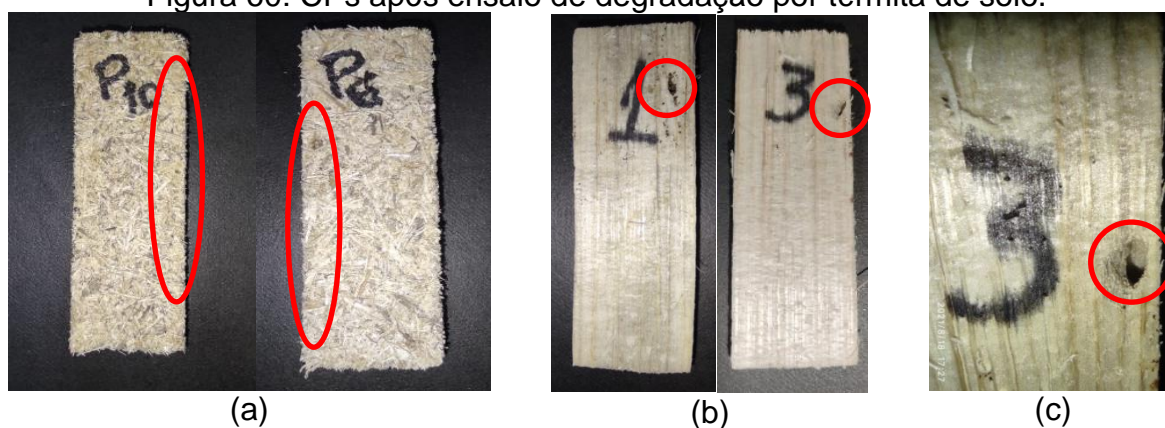
O gráfico 12 mostra a curva de morte dos cupins ao longo dos dias do ensaio realizado no miolo da flecha de sisal *in natura*. A degradação média verificada para o miolo da flecha de sisal *in natura* foi de 2,69% e o ensaio foi interrompido após 3 semanas da data de início devido a morte das térmitas usadas no estudo.

Gráfico 12: Morte das térmitas para ensaio no miolo da flecha *in natura*.

Fonte: O autor.

A figura 60 mostra os corpos-de-prova do painel reconstituído e do miolo da flecha de sisal *in natura*, após os ensaios de degradação por térmita de solo. É possível observar em 60(a) os CPs de painéis, após o ensaio de degradação biológica por térmita de solo. A figura 60(b) apresenta os CPs de miolo de flecha de sisal após o ensaio com perfurações feitas pelos cupins e a Figura 60(c) mostra um detalhe da cavidade feita pelas térmitas.

Figura 60: CPs após ensaio de degradação por térmita de solo.



Fonte: O autor.

Os resultados encontrados indicam que os cupins utilizados no ensaio consumiram 17,9% mais material nos corpos-de-prova de miolo de flecha de sisal *in natura* do que nos CPs de painéis reconstituídos. Foi verificado também que nos CPs de miolo *in natura* as térmitas realizaram perfurações, construindo cavidades que servem para proteção dos indivíduos e alimentação. Nos CPs de painéis reconstituídos não foram observadas perfurações ao longo das amostras, entretanto, observou-se

que as térmitas consumiram algumas fibras da camada mais superficial adjacente a região de corte dos CPs.

A redução da população de térmitas de solo, usados no ensaio, foi mais acentuada nos painéis reconstituídos, isto pode ter ocorrido devido a presença da resina poliuretana à base de mamona. Constatou-se que nas amostras de miolo de flecha de sisal *in natura*, o consumo de material foi 17,9% maior em relação aos painéis, e que isto pode ter elevado o tempo de sobrevivência das térmitas, de 2 semanas para os painéis para 3 semanas para o miolo da flecha *in natura*.

4.9.2 Inflamabilidade

Segundo Lacombe (2015), o ensaio de inflamabilidade tem por objetivo verificar a resistência a incêndio do material desenvolvido, através da avaliação quanto a vulnerabilidade pela propagação da chama que possa levar riscos aos usuários e a edificação. Ainda segundo a autora, esta análise é fundamental, observado o preconceito que existe em relação ao emprego de materiais alternativos à produção de reconstituídos.

A figura 61 mostra os corpos-de-prova do painel reconstituído utilizados para ensaio de queima horizontal.

Figura 61: CPs antes e após ensaio de degradação por chama – queima horizontal.



Fonte: O autor.

Através do ensaio de inflamabilidade horizontal não foi possível determinar a velocidade de queima dos corpos-de-prova do painel reconstituído. Pois, após o

contato direto com a chama, a frente de queima propagou-se até a linha inicial estimada para determinação da velocidade. Com a chama extinguida, novamente o material foi exposto à fonte de fogo, entretanto, a camada carbonizada impediu a reignição das amostras e o ensaio foi considerado concluído. Segundo a UL 94 (Underwriters Laboratories Inc.,1998), este comportamento classifica o material desenvolvido como auto-extinguível para queima horizontal.

Para queima vertical seguindo a UL 94 (Underwriters Laboratories Inc.,1998), o comportamento verificado foi diferente do anterior.

A figura 62 apresenta o que restou dos CPs utilizado para verificação da velocidade da queima vertical.

Figura 62: CPs após ensaio de degradação por chama – queima vertical.



Fonte: O autor.

Observou-se que para queima vertical seguindo a UL 94 (Underwriters Laboratories Inc.,1998), os CPs utilizados após o primeiro contato com a chama, mantiveram a combustão e queimaram até o grampo de apoio. Entretanto, observou-se que não houve a ignição do algodão situado na base de apoio das amostras, indicando que, embora ocorresse a queima, o material desprendido não foi capaz de dar continuidade a queima em outro material.

Este comportamento pode estar relacionado às dimensões das partículas adotadas, menores que 2 mm e a pouca massa do material, que quando desprendidas dos CPs após a queima não foram capazes de dar início a ignição no algodão. Além disso, o processo de reconstituição das partículas associadas à resina poliuretana à

base de mamona adere as partículas, evitando que as partículas em chama se desprendam do corpo do painel.

A tabela 13 apresenta os resultados encontrados para velocidade de queima vertical das amostras do painel reconstituído de miolo de flecha de sisal e resina poliuretana à base de mamona.

Tabela 13: Velocidade de queima vertical dos CPs de painel reconstituído.

CP	Tempo	Comp.	Espessura (mm)		Veloc.	Queima	Obs.
nº	seg.	mm	mín.	máx.	mm/min.	Nº	-
1	31	127	9,10	9,53	245,81	1	Sem partículas flamejantes; Sem ignição do algodão.
2	48	127	8,49	8,94	158,75	1	
3	51	128	9,43	9,73	150,59	1	
4	56	127	9,01	9,43	136,07	1	
5	36	128	8,89	9,11	213,33	1	
6	46	128	8,90	9,15	166,96	1	
7	51	129	8,94	9,47	151,76	1	
8	52	129	8,67	9,01	148,85	1	
9	34	128	7,90	8,88	225,88	1	
10	49	128	9,22	9,55	156,73	1	
Média					175,47		

Fonte: O autor.

A velocidade média para queima vertical observada foi de 175,47 milímetros por minuto. Segundo Lacombe (2015) esta velocidade está diretamente relacionada à capacidade de espalhamento da chama, bem como ao tempo para fuga dos usuários em caso de incêndio.

Não existem nas normas brasileiras de painéis reconstituídos registros quanto as taxas de velocidades de propagação de chama. Entretanto, os valores médios encontrados podem ser confrontados com valores da literatura, como os de Lacombe (2015) que encontrou velocidade de 25,91 mm/min para painéis de pinus, 27,57 mm/min para painéis de eucalipto, 41,94 para painéis de teca, e todos eles produzidos com EPS dissolvidos. Entretanto, o valor médio encontrado nesta propriedade para o painel aqui estudado está diretamente relacionado à menor densidade e maior porosidade do material, o que facilita a sua combustão, visto que Lacombe (2015) desenvolveu em seus estudos painéis de média densidade.

5. CONCLUSÕES

O estudo em torno do desenvolvimento de uma nova solução isolante térmica para as edificações a partir do emprego do miolo da flecha de sisal e resina à base de mamona mostrou-se relevante, contribuindo para os avanços nas pesquisas com foco no desenvolvimento de soluções isolantes térmicas a partir do emprego de resíduos vegetais e sua reconstituição. Com a realização deste estudo, foi possível obter as seguintes conclusões:

a) Os ensaios físicos no miolo da flecha de sisal indicam que o material detém densidade de 122 kg/m^3 , classificando-o como uma matéria prima de baixa densidade. Isto está relacionado aos vazios presentes no tecido da flecha de sisal.

b) O miolo da flecha de sisal *in natura* se caracteriza como material higroscópico devido à elevada capacidade de inchamento e absorção de água nos intervalos ensaiados;

c) A composição química dos constituintes do miolo da flecha de sisal é semelhante aos teores encontrados nas folhas da *Agave sisalana*.

d) A análise da microestrutura indicou uma grande quantidade de vazios nos elementos anatômicos que constituem o miolo da flecha. Esta característica do material contribui para o seu desempenho como material isolante térmico.

e) O material apresentou estabilidade em relação à degradação dos seus constituintes para temperaturas inferiores à 200°C .

f) Os painéis isolantes adotando teor de resina poliuretana à base de mamona de 12% e produzidos com tensões de prensagem de 1 MPa e os painéis produzidos com 10% e 12% de teores e adotando tensão de prensagem de 2 MPa demonstraram estabilidade dimensional após o período de cura e estabilização;

g) As propriedades físicas do produto desenvolvido classificam o painel isolante como painel de baixa densidade (419 kg/m^3);

h) Os painéis isolantes produzidos com teor de 10% de resina e tensão de prensagem de 2 MPa apresentaram estabilidade dimensional favorecendo o manuseio e aplicação como isolante térmico;

i) O material de miolo de flecha de sisal apresenta boa capacidade de isolamento térmico, além de indicar menor absorção de temperatura quando comparado à materiais isolantes como lã de rocha, lã de vidro e lã de cerâmica;

j) O isolante térmico desenvolvido obteve baixa taxa de condutividade térmica, sendo classificado como bom isolante térmico, conforme a literatura.

k) O teste de degradação por cupins de solo (térmitas de solo) demonstrou que a flecha de sisal *in natura* tem maior vulnerabilidade a este tipo de ataque do que o material a base de flecha e resina poliuretana. Isto pode ser decorrente do emprego da resina de mamona no compósito.

l) O teste de degradação por chama do material desenvolvido demonstrou que é mais favorável à propagação do fogo quando a posição do corpo-de-prova é vertical do que em relação a posição horizontal.

m) Na queima horizontal o material desenvolvido apresentou propriedade auto-extinguível em relação à chama. Por ser o painel constituído por partículas, na queima horizontal e vertical, as partículas se extinguíram rapidamente e não contribuíram para a propagação do fogo.

O material isolante térmico em formato de painel desenvolvido a partir de flecha de sisal e resina de mamona obteve desempenho, através deste estudo transversal, que permitiu classifica-lo como um novo produto com finalidade isolante térmica para as edificações residenciais. As análises físicas e mecânicas, químicas, térmicas e da microestrutura apontam caminhos promissores para a matéria prima e para o material isolante desenvolvido. As resistências associadas ao novo material de flecha permitiram conhecer as limitações de uso para o atual produto, embora os isolantes comercializados no mercado apresentem configurações de maiores e menores rigidezes, variando de painéis mais rígidos a feltros maleáveis, sendo adequados conforme as solicitações de uso. Portanto, a aplicação do isolante de flecha de sisal é passível à adaptação quanto à demanda do produto, de modo que as propriedades mecânicas ensaiadas constituem um direcionamento quanto aos limites de aplicação do material, bem como as propriedades térmicas devem ser respeitadas para o uso adequado do isolante térmico de flecha de sisal diante dos estudos propostos neste trabalho.

5.1 Lacunas e sugestões para trabalhos futuros

Para que sejam aprofundadas as pesquisas no tema desenvolvido nesta dissertação, as lacunas que podem ser exploradas em trabalhos futuros são:

- a) Verificar a contribuição quanto à inserção de produtos para reduzir a higroscopicidade do novo material e as implicações desse processo na estabilidade e condutividade térmica do novo material isolante.
- b) Ampliar o estudo do desempenho do novo painel isolante térmico frente aos agentes de degradação.
- c) Propor análise quanto à origem da matéria prima, adotando exemplares da flecha de sisal com maiores e menores dimensões; bem como, o uso do escapo floral de outras espécies de *Agave* como matéria prima para matérias isolantes.
- d) Estudar os mecanismos de transporte de calor presentes no produto desenvolvido, em detrimento da escala atômica, através do transporte de energia por fônons.
- e) Investigar as propriedades do isolante térmico desenvolvido frente às mudanças nas condições de manufatura do produto.

REFERÊNCIAS

- ABU-JDAYIL, B. MOURAD, A. H. HITTINI, W. HAMEEDI, S. **Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview**. Construction and Building Materials, v. 214, n. 1, p. 709 – 735, 2019.
- ACDA, M. N. CABANGON, R. **Termite resistance and physico-mechanical properties of particleboard using waste tobacco stalk and wood particles**. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 85, p. 354 – 358, 2013.
- ADEODATO, S. VILLELA, M. BETIOL, L. S. MONZONI, M. **Madeira de ponta a ponta – O caminho desde a floresta até o consumo**. 1. ed. São Paulo: FGV, 2011. 128p.
- ALVES, M. O. SANTIAGO, E. G. LIMA, A. R. M. **DIAGNÓTICO SOCIOECONÔMICO DO SETOR SISALEIRO DO NORDESTE BRASILEIRO**. DOCUMENTOS DO ETE-NE, v. 4, 92p. Escritório Técnico De Estudos Econômicos Do Nordeste. 2005.
- ANTUNES JÚNIOR, C. MONTEGUTTI, M. C. HAUS, T. L. **ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA DE ISOLANTES TÉRMICOS**. Programa de Apoio à Iniciação Científica – PAIC, p. 211 - 235, 2016.
- ARAÚJO, C. K. C. CAMPOS, C. I. CAMARGO, S. K. C. A. CAMARGO, B. **Caracterização mecânica de painéis particulados de média densidade produzidos a partir de resíduos de madeira**. Revista Gestão Industrial, v. 15, n. 1, p. 197 – 211, jan./mar., 2019.
- ARAÚJO, I. I. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE BAMBU COM ADIÇÃO DE CASCA DE CAFÉ**. 2015. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, 2015.
- ARAÚJO, I. I. DINHANE, F. C. R. BUENO, M. A. P. GALDINO, G. A. VALARELLI, I. D. **DESEMPENHO FÍSICO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS MDP FABRICADAS COM BAMBU E CASCA DE CAFÉ**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, 2014. **Anais...** Cuiabá, Universidade Estadual Paulista, p. 2124 – 2131.
- ARAÚJO, S. M. S. **A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos**. Rios Eletrônica, Revista Científica da FASETE, p. 89 – 98, 2011.
- ASDRUBALI, F. D'ALESSANDRO, F. SCHIAVONI, S. **A review of unconventional sustainable building insulation materials**. Sustainable Materials and Technologies, v. ?, n.?, p. 1 – 17, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: **Projeto de estruturas de madeiras**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14 810: **Chapas de madeira aglomerada – Parte 1: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14 810: **Chapas de madeira aglomerada – Parte 2: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14 810: **Chapas de madeira aglomerada – Parte 3: Métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2002.

Associação de Desenvolvimento Sustentável e Solidário da Região Sisaleira.

APAEB. **PRODUTOS DE SISAL**. 2014. Disponível em:

<http://www.apaeb-sisal.com.br/>. Acesso em 05 de novembro de 2020.

AZIZI, K. TABARSA, T. ASHORI, A. **Performance characterizations of particleboards made with wheat straw and waste veneer splinters**. Composites Part B: Engineering, v. 42, n. 7, p. 2085 – 2089, 2011.

BACHA, C. J. C. BRUGNRO, R. FILHO, G. B. C. **A indústria de painéis – Madeira**. Revista Mercado e Negócio. Agroanalysis (FGV), 2007, v. 27, p. 32 – 35.

BALDIN, T. GRASSMANN, A. VIDRANO, B. A. CANCIAN, L. C. SPATT, L. L. HASELEIN, C. R. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 2016, v. 11, n. 3, p. 230 – 237. DOI:10.5039/agraria.v11i3a5376.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES Setorial, 40. p. 323 – 384, 2014.

BARBIRATO, G. FIORELLI, J. BARRERO, N. G. PALLONE, E. M. J. A. LAHR, F. A. R. CRISTOFORO, A. L. SAVASTANO JUNIOR, H. **PAINEL AGLOMERADO HÍBRIDO DE CASCA DE AMENDOIM REFORÇADO COM PARTÍCULAS DE MADEIRA ITAÚBA**. Ciência florestal, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 685 – 697, Jul./Set., 2014.

BINICI, H. EKEN, M. DOLAZ, M. AKSOGAN, O. KARA, M. **An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower**. Construction and Building Materials, v. 51, p. 23 - 24, 2014.

BIOWOOHOO – COMPARTILHANDO CIÊNCIA. **CONTEXTUALIZAÇÃO AMBIENTAL E SÓCIOECONÔMICA DE UMA ESPÉCIE EXÓTICA INTRODUZIDA (Agave sisalana) NO BRASIL**. Disponível em:

<http://biowoohoo.blogspot.com/2014/05/contextualizacao-ambiental-e-socio.html>.

Acesso em 14 de Dezembro de 2021.

BLECHA, K. A. PANZERA, T. H. MACHADO, G. DE O. CARVALHO, S. S. NETO, C. C. **Painéis de partícula fabricados com resíduos de podas de árvores urbanas**. 2013. In... Painéis de Partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, LAMEM. 2013.

BROWN, K. 2002. **Agave sisalana Perrine**. University of Florida, Center for Aquatic and Invasive Plants. Gainesville. 4 p.

- BUFALINO, L. **Avaliação da permeabilidade e sua influência sobre as propriedades físicas e de colagem em painéis aglomerados**. 2010. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2010.
- BUYUKSARI, U. AYRILMIS, N. AVACI, E. KOC, E. **Evaluation of the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard manufactured from waste stone pine (*Pinus pinea* L.) cones**. Bioresource Technology, v. 101, n. 1, p. 255 – 259, 2010.
- BUZO, A. L. S. C. SUGAHARA, E. S. DA SILVA, S. A. M. MORALES, E. A. M. AZAMBUJA, M. A. **Painéis de pínus e bagaço de cana empregando-se dois adesivos para uso na construção civil**. Ambiente construído, v. 19, n. 4, p. 183-193, out./dez. 2019.
- CALEGARI, L. HASELEIN, C. BARROS, M. V. SCARAVELLI, T. L. DACOSTA, L. P. E. PEDRAZZI, C. HILLING, E. **ADIÇÃO DE APARAS DE PAPEL RECICLÁVEL NA FABRICAÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 193 – 204, 2004.
- CALLISTER, W. D. JR. RETHWISCH, D. G. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS – UMA INTRODUÇÃO**. 8ª Edição. LTC, 2012.
- CANGEMI, J. M. **BIODEGRADAÇÃO DE POLIURETANO DERIVADO DO ÓLEO DE MAMONA**. 142 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2006.
- CARDOSO, G. T. VECCHIA, F. NETO, S. C. **ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO (PU) DERIVADA DE ÓLEO VEGETAL (*Ricinus communis*) PARA ISOLAMENTO TÉRMICO EM SISTEMAS DE COBERTURA**. 2011. Em 4º Seminário Mato-Grossense de Habitações de Interesse Social, Sinop, Mato Grosso. 2011.
- CARTAXO, W. V. BELTRÃO, N. E. M. SILVA, O. R. R. F. SEVERINO, L. S. AUASSUNA, N. D. SOARES, J. J. **O Cultivo da Mamona no Semi-árido Brasileiro**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular técnica, EMBRAPA, jun., 2004, 20 p.
- CASA ABRIL. **COMO FAZER UM PAREDE DE PAU A PIQUE**. 2013. Casa Abril. Disponível em: <https://casa.abril.com.br/construcao/como-fazer-uma-parede-de-pau-a-pique/>. Acesso em 06 de novembro de 2020.
- ÇENGEL, Y. A. GHAJAR, A. J. **HEAT AND MASS TRANSFER: FUNDAMENTALS & APPLICATIONS**. 5ª ed, New York: McGraw-Hill Education, 968 p. 2015.
- CENTRO NORDESTINO DE INFORMAÇÕES SOBRE PLANTAS. CNIP. **AGAVE - BANCO DE DADOS DE PLANTAS DO NORDESTE**. Disponível em: <http://www.cnip.org.br/bdpm/fotosdb/Agave.pdf>. Acesso em 05 de novembro de 2020.
- CHAROENVAI, S. HIRUNLABH, J. KHEDARI, J. **Particleboards from Durian Peel and Coconut Coir**. The First Thai-Biomass Utilization Symposium. Effective Utilization of Forest Biomass for Regional People in Thailand, 2003, 11p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB, 2018. **Fibras – Conjuntura Setembro 2018**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br>. Acesso em: 06 de setembro de 2019.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e promoção de Políticas Públicas**. Subsídios para a promoção da Construção Sustentável. 2014. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4>>. Acesso em 31 de Outubro de 2020.

COSTA, D. S. GUIMARÃES, J. M. F. SANTOS, I. P. FUJIYAMA, R. T. **METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DE BAMBU E COMPÓSITOS DE BAMBU**. XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Blumenau, Santa Catarina, 8p. 2011.

COSTA, L. L. BARBOSA, V. A. BATISTA, S. GUIMARÃES, C. C. **EVOLUÇÃO NO EMPREGO DOS SUBPRODUTOS DE SISAL (*Agave sisalana*) NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO DE HABITAÇÕES RURAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – PERÍODO DE 1920 ATÉ OS DIAS ATUAIS**. In: 3º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira, 2019a, Salvador. **Anais...** Salvador, Universidade Federal da Bahia, 2019. p. 1034 – 1041..

COSTA, L. L. SENA, C. S. SILVA, G. A. D. O. CUNHA, R. D. CÉSAR, S. F. GUIMARÃES, C. C. **ANÁLISE MECÂNICA EM FLECHA DE SISAL AGAVE SISALANA: ALTERNATIVA À CONSTRUÇÃO DE MENOR IMPACTO AMBIENTAL**. In: IV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 2019b, Santarém. **Anais...** Santarém, Universidade Federal do Oeste do Pará, 2019b, 6p.

COSTA, L. L. SILVA, M. L. J. S. S. ALMEIDA, M. M. CUNHA, R. D. A. CÉSAR, S. F. **A FLECHA DO SISAL COMO MATERIAL LIGNOCELULÓSICO ALTERNATIVO ÀS HABITAÇÕES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. In: XVII Congresso Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de madeira, 2020, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2020, 13p.

CONSTANTINO, R. **Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado**. In: SCARIOT, A.O. et al. (Eds.). Biodiversidade, ecologia, e conservação do cerrado Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p.319- 333.

CRAVO, J. C. M. **PAINEL AGLOMERADO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**. Ciência florestal. Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 721 – 730, Jul./Set., 2015.

CRAVO, J. C. M. SARTORI, D. L. NAKANISHI, E. Y. FIORELLI, J. BALIEIRO, J. C. C. DOS SANTOS, W. N. **FORRO ECOLÓGICO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA GALPÕES AVÍCOLAS**. Ciência rural, Santa Maria, v. 44, n. 8, p. 1466 – 1471, Ago/2014.

DAHAKA, A. B. PATIL, P. G. **Production of Particle Boards from Cotton Stalks – An Eco-friendly Way of Biomass Utilization**. Agricultural Engineering Today, v. 41m nº 3, p. 32 – 35, 2017.

DA SILVA, M. A. P. METODOLOGIA PARA A FEDINIÇÃOEXIGENCIAL DE ISLAN-
TES TÉRMICOS. 1996. 134p. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios),
Universidade do Porto, Porto. 1996.

DA SILVA, O. R. R. F. COUTINHO, W. M. CARTAXO, W. V. SOFIATTI, V. SILVA
FILHO, J. L. CARVALHO, O. S. DA COSTA, L. B. **CULTIVO DO SISAL NO NOR-
DESTE BRASILEIRO**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular
Técnica, 24 p. 2008.

DALVI, M. D. FERRES, S. C. ALVAREZ, C. E. FUICA, G. E. S. **Avaliação da Sus-
tentabilidade da Madeira por Meio da Ferramenta ISMAS**. Floresta e ambiente,
Rio de Janeiro, v. 24, p. 1– 7, out. de 2017.

DANCE, S. HERWIN, P. **Straw bale sound insulation: Blowing away the chaff**.
Proceedings of Meetings on Acoustics, V. 19, 8p, 2013.

DANTAS, M. B. SCHMITT, G. B. FREITAS, M. D. G. FERRÚA, L. SOUZA, M. D. E.
Mapeamento de incentivos econômicos para a construção sustentável. **A indústria
da construção brasileira em busca da sustentabilidade**. Câmara Brasileira da
Indústria da Construção. Florianópolis – SC. Julho de 2015.

DE BARROS FILHO, R. M. MENDES, L. M. NOVACK, K. M. APRELINI, L. O. BO-
TARO, V. R. **Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea for-
maldehyde and melamine formaldehyde resin**. Industrial Crops and Products, V.
33, N. 2, P. 369 – 373, 2011.

EVON, P. VANDENBOSSCHE, V. PONTALIER, P. Y. RIGAL, L. **New thermal insu-
lation fiberboards from cake generated during biorefinery of sunflower whole
plant in a twin-screw extruder**. Industrial Crops and Products, v.52, p.354-362,
2014.

FAUSTINO, J. PEREIRA, L. SOARES, S. CRUZ, D. PAIVA, A. VARUM, H. FER-
REIRA, J. PINTO, J. **Impact sound insulation technique using corn cob parti-
cleboard**. Construction and Building Materials, v. 37, n. ?, p. 153 – 159, 2012.

FERRO, F. S. ALMEIDA, T. H. SOUZA, A. M. ALMEIDA, D. H. CHRISTOFORO, A.
L. LAAHR, F. A. R. **Painel híbrido OSB/MDP de madeira *Pinus taeda* e resina po-
liuretana à base de óleo de mamona**. Revista Ambiente Construído, v. 19, n. 3, p.
7 – 14, 2019.

FLAMABILIDADE: **Ensaio de resistência à chama**. CTB. Disponível em:
[https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-
vulcanizadas/propriedades-fisicas/propriedades-termicas/flammabilidade/ensaios-de-
resistencia-a-chama/](https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-fisicas/propriedades-termicas/flammabilidade/ensaios-de-resistencia-a-chama/). Acesso em: 14 de julho de 2021.

FRAUNHOFER - Fraunhofer-Gesellschaft. **Using cattails for insulation**. Disponível
em: [https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2013/may/using-cattails-for-
insulation.html](https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2013/may/using-cattails-for-insulation.html). Acesso em 12 de outubro de 2021.

GHALEHNO, M. D. NAZERASN, M. **PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARD FROM ROSELLE (HIBISCUS SABDARIFFA) STALKS AND EUCALYPTUS (EUCALYPTUS CAMALDULENSIS) WOOD PARTICLES.** Wood Material Science e Engineering, v.?, n. 7, p. 25 – 29, 2012.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA – NETO, S.; CARVALHO, R. P. L. **Entomologia agrícola.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GASKELL, D. R. **AN INTRODUCTION TO TRANSPORT PHENOMENA IN MATERIALS ENGINEERING.** 2º Ed. 2013. 687p.

GONÇALVES, F. G. OLIVEIRA, J. T. S. **RESISTÊNCIA AO ATAQUE DE CUPIM-DE-MADEIRA SECA (*Cryptotermes brevis*) EM SEIS ESPÉCIES FLORESTAIS.** Cerne, Lavras, v. 12, n. 1, p. 80 – 83, 2006.

GONDIM, T. M. DE S. SOUZA, L. C. **Caracterização de Frutos e Sementes de Sisaal.** Circular Técnica. Campina Grande, Paraíba. 6p. 2009.

GONZÁLEZ-GARCIA, S. FEIJOO, G. HEATHCOTE, C. KANDELBAUER, A. MOREIRA, M. T. **Environmental assessment of green hardboard production coupled with a laccase activated system.** Journal of Cleaner Production, 2011, v. 19, p. 445 – 453.

GRUPO HAMILTON RIOS. **NOSSOS PRODUTOS – PRODUTOS.** Disponível em: <http://pt.hamiltonriosgroup.com>. Acesso em 05 de novembro de 2020.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B. MENDES, L. M. MENDES, R. F. MORI, F. A. **Painéis de madeira aglomerada de resíduos de laminação de diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* E *Eucalyptus cloeziana*.** Cerne, Lavras, v. 17, n. 4, p. 443 – 452, Out/Dez., 2011.

GULER, C. COPUR, Y. TASCIOGLU, C. **The manufacture of particleboards using mixture of peanut (*Arachis hypoqaea*) and European Black pine (*Pinus nigra Arnold*) wood chips.** Bioresource Technology, v. 99, p. 2893–2897, 2007.

GUNTEKIN, E. KARAKUS, B. **Feasibility of using eggplant (*Solanum melongena*) stalks in the production of experimental particleboard.** Industrial Crops and Products, v. 27, n. 3, p. 354 – 358, 2008.

HISS HAAT – 1833. **Hiss Reet Platte – die ökologische Dämmung.** Catálogo de produto. Am Kurpark, 2005. 6p.

HURTADO, P. L. ROUILLY, A. VANDENBOSSCHE, V. RAYNAUD, C. **A REVIEW ON THE PROPERTIES OF CELLULOSE FIBRE INSULATION.** Building and Environment, v. 96, n. ?, p. 170 – 177, 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ. Publicação IBÁ ou Anuário Estatístico ABRAF, 2014. Disponível em: http://iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf. Acesso em 04 de Novembro de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola – Lavoura Permanente: Sisal ou Agave**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em 06 de setembro de 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STRANDARDIZATION. Sustainability in building construction — General principles. ISO 15392. Suíça, 2008. 9p.

ISOVER SAINTOGOURBAIN. LINHA INDUSTRIAL – **ECONOMIA DE ENERGIA E ALTA PERFORMANCE**. ?, 8 p.

IWAKIRI, S. KEINERT JÚNIOR, S. MENDES, L. M. ALBUQUERQUE, C. E. C. LATORRACA, J. V. F. **Painéis de madeira**. 1 ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná – FUPEF. 2005, 254p.

JELLE, B. P. **Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – properties, requirements and possibilities**. Energy Build. v. 43, p. 2549–2563, 2011.

JOHN, V. M. Materiais de construção e o meio ambiente. In:_____. **Materiais de construção civil e princípio de ciência e engenharia de materiais**. 2. Ed. São Paulo: G. ISAIA, 2017 cap. 4, p. 1 – 40.

KALAYCIOGLU, H. NEMLI, G. **Producing composite particleboard from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) stalks**. Industrial Crops and Products, v. 24, p. 177 – 180, 2006.

KESKIN, H. KUCUKTUVEK, M. GURU, M. **The potential of poppy (*Papaver somniferum* Linnaeus) husk for manufacturing wood-based particleboards**. Construction and Building Materials, v. 95, n. 1, p. 224 – 231, 2015.

KEHL. Poliuretano. **Aglomerante**. AG 201. Disponível em: <http://www.kehl.ind.br/index.php>. Acesso em 04 de outubro de 2020.

KHAZAEIAN, A. ASHORI, A. DIZAJ, M. Y. **Suitability of sorghum stalk fibers for production of particleboard**. Carbohydrate Polymers, v. 120, p.15 – 21, 2015.

KHEDARI, J. CHAROENVAI, S. HIRUNLABH, J. **New insulating particleboards from durian peel and coconut coir**. Building and Environment, v. 8, n. 3, p. 435 – 441, 2003.

KIM, H. K. JEON, J. H. LEE, H. K. **Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air**. Construction and Building Materials. V. 29, P. 193 – 200, 2012.

KLÍMEK, P. MEINLSCHMIDT, P. WIMMER, R. PLINKE, B. SCHIRP, A. **Using sunflower (*Helianthus annuus* L.), topinambour (*Helianthus tuberosus* L.) and cupplant (*Silphium perfoliatum* L.) stalks as alternative raw materials for particleboards**. Industrial Crops and Products, v. 92, p. 157 – 164, 2016.

KLÍMEK, P. WIMMER, R. MEINLSCHMIDT, P. KÚDELA, J. **Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards**. *Industrial Crops and Products*, v. 111, p. 157 – 276, 2018.

KLOCK, U. **TECNOLOGIA DE CELULOSE E PAPEL: QUÍMICA DA MADEIRA**. Suzano, São Paulo, 2013. Apresentação de Slide. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 318 slides. Aula Química da madeira. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2013_Umberto_Klock_QuimicaMadeira.pdf. Acesso em 29 de outubro de 2021.

KORD, B. ZARE, H. HOSSEINZADEH, A. **EVALUATION OF THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARD MANUFACTURED FROM CANOLA (*Brassica napus*) STRAWS**. *Maderas. Ciencia y tecnologia*. v.1 n. 18, p. 9 – 18, 2016.

KUBLER, H. **Wood as building and hobby material: how to use lumber, wood-base panels, and roundwood wisely in construction, for furniture, and as fuel**. New York: Wiley, 1980. 256 p.

LACOMBE, J. E. DE A. **PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE SERRAGEM E POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 217p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo – USP, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Carlos, São Paulo, 2015.

LEITE, J. C. P. S. Neto, M. T. R. **Meio ambiente e os embates da construção civil**. *Construindo*. Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 40 – 49, Jul./Dez., 2014.

LIMA, J. T. COSTA-LEONARDO, A.M. **Recursos alimentares explorados pelos cupins (*Insecta: Isoptera*)**. *Biota Neotrop*. May/Aug 2007 vol. 7, no. 2. Disponível em: <<https://www.biotaneotropica.org.br/v7n2/pt/abstract?article+bn04007022007>>. Acesso em 20 de Outubro de 2021.

LOURENÇO, P. B. BRANCO, J. M. **Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI**. In:_____. *História da Construção: Arquiteturas e Técnicas Construtivas*. 1. Ed. Braga: CITCEM, 2013, cap. 1, p. 199 – 211.

MACEDO, L. B. FERRO, F. S. VARANDA, L. D. CAVALHEIRO, R. S. CHRISTOFORO, A. L. LAH, F. A. R. **Propriedades físicas de painéis aglomerados de madeira produzidos com adição de película de polipropileno biorientado**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 7, p. 674 – 679, 2015.

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

MADEL. **PAINEL EM LÃ DE ROCHA THERMAX PSR – 160**. Disponível em <https://madelgroup.com.br/produto/isolamento-termico-e-acustico/la-de-rocha/painel-em-la-de-rocha-thermax-psr-160/>. Acesso em 30 de outubro de 2021.

MAHIEUA, A. ALIXB, S. LEBLANCA, N. **Properties of particleboards made of agricultural by-products with a classical binder or self-bound.** *Industrial Crops & Products*, v. 130, n. ?, p. 371–379, 2019.

MANOHAR, K. **Experimental Investigation of Building Thermal Insulation from Agricultural By-products.** *British Journal of Applied Science & Technology*, Londres, v.2, n.3, p.227-239, 2012.

MARCOS, J. S. L. **Materiais Naturais Alternativos de Isolamento Térmico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015.

MARTIN, A. R. MARTINS, M. A. MATTOSO, L. H. C. SILVA, O. R. R. F. **Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade *Agave sisalana*.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 19, n. 1, p. 40 a 46, 2009.

MARTINS, E. H. GUIMARÃES JUNIOR, J. B. PROTÁSIO, T. DE P. MENDES, R. F. MENDES, L. M. **PAINÉIS AGLOMERADOS CONVENCIONAIS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE *Cecropia pachystachya*.** *Enciclopédia Biosfera*, v. 10, n. 19, p. 1418 – 1425, 2014.

MARTINS, M. A. MATTOSO, L. H.C. SILVA, O. R. R. F. **Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*.** *Revista Polímeros, Ciência e Tecnologia*, v. 19, n.1, p. 40–46, 2009.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a bioteriores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2009, 77 p.

MELO, R. R. SANTINI, E. J. HASELEIN, C. R. STANGERLIN, D. M. **PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE MADEIRA E CASCA DE ARROZ.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449 – 460, 2009.

MENDES, J. U. L. SILVEIR, F. F. CAVALCANTI, S. L. L. OLIVEIRA, L. K. R. RIBEIRO, F. A. SOUSA, R. F. **DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE UM COMPÓSITO NATURAL VISANDO CLASSIFICÁ-LO COMO ISOLANTE TÉRMICO.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Joinville - Santa Catarina. 8 p. 2012.

MESQUITA, A. DE L. BARRERO, N. G. FIORELLI, J. CHRISTOFORO, A. L. DE FARIA, L. J. G. LAHR, F. A. R. **Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture.** *Industrial Crops & Products*, v. 112, n. ?, p. 644 – 651, 2018.

MID-DAY. **HEALTH: 10 AMAZING BENEFITS OF CASTOR OIL FOR SKIN AND HAIR.** 2017. Disponível em: <https://www.mid-day.com/articles/10-amazing-benefits->

of-castor-oil-skin-and-hair-treatment-medicinal-properties-health-lifestyle-news/18080181. Acesso em 15 de novembro de 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção sustentável**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/item/8059.html>. Acesso em: 31 de outubro de 2020.

MIRANDA, G. P. M. **AGAVE SISALANA, O OURO VERDE DO SERTÃO: O mundo do trabalho e os espaços de resistência narrados pela memória dos velhos sisaleiros do semi-árido paraibano (1970-1990)**. 2011. In: XXVI Simpósio Nacional de História. São Paulo. Anais... São Paulo: ANPUH, 2011. p. 1 – 12.

MONTEIRO, T. C. EFEITO DA ANATOMIA NO FLUXO DA ÁGUA EM MADEIRA DE *Eucalyptus E Corymbia*. 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal da Lavras, Lavras, Minas Gerais.

MORESCHI, J. C. PROPRIEDADES DA MADEIRA. 4ª Ed. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Apostila do Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2014.

NADHARI, W. N. A. W. DANISH, M. NASIR, M. S. R. M. GENG, B. J. **Mechanical properties and dimensional stability of particleboard fabricated from steam pre-treated banana trunk waste particles**. Journal of Building Engineering, v. 26, 4p, 2019.

NATUREZA BRASILEIRA. ZIG KOCH. Disponível em: <https://www.naturezabrasileira.com.br/>. Acesso em 06 de novembro de 2020.

NAVROSKI, M. C. LIPPERT, D. B. CAMARGO, L. PEREIRA, M. O. HASELEIN, C. R. **AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO DE TRÊS DIFERENTES MATERIAIS USADOS NA CONSTRUÇÃO E PREENCHIMENTO DE PAREDES EXTERNAS**. Ciência da Madeira, Pelotas. v. 01, n. 01, p. 41 – 51, maio/2010.

NEGRÃO, A. G. PAINEL COMPÓSITO DE FIBRA DA FOLHA DO ABACAXIZEIRO E RESINA VEGETAL PARA USO NA ARQUITETURA. 2018. Tese (Doutorado em Arquitetura e urbanismo) – Projeto, morfologia e tecnologia do ambiente construído - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

NGUYEN, D. M. GRILLET, A. BUI, Q. DIEP, T. M. H. WOLOSZYN, M. **Building bio-insulation materials based on bamboo powder and bio-binders**. Construction and Building Materials, v. 186, n. 20, p. 686 – 698, 2018.

NGUYEN, D. M. GRILLET, A. BUI, Q. DIEP, T. M. H. WOLOSZYN, M. **Hygrothermal properties of bio-insulation building materials based on bamboo fibers and bio-glues**. Construction and Building Materials, v. 155, n. ?, p. 852 – 866, 2017.

OH, Y. LEE, S. **USE OF BUCKWHEAT STALK IN PARTICLEBOARD BONDED WITH UREA-FORMALDEHYDE RESIN ADHESIVE**. Cellulose Chemistry and Technology, v.? n. 46, p. 643 – 647, 2012.

O SOM DO SISAL. Disponível em: <http://agendacultural.ba.gov.br/exposicao-o-som-do-sisal/>. Acesso em 15 de Janeiro de 2022.

PAIVA, A. PEREIRA, S. SÁ, A. CRUZ, D. VARUM, H. PINTO, J. **A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards.** Energy and Buildings, v. 45, p. 272 – 279, 2012.

PANYAKAEV, S. FOTIOS, S. **New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse.** Energy and Buildings, v.43, n.7, p.1732–1739, 2011.

PARIDAH, M. T. JULIANA, A. H. EL-SHEKEIL, Y. A. JAWAID, M. ALOTHMAN, O. Y. **MEASUREMENT OF MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARD BY HYBRIDIZATION OF KENAF WITH RUBBERWOOD PARTICLES.** Measurement, v. 56, n. ?, p. 70 – 80, 2014.

PEREIRA, B. L. C. CARNEIRO, A. C. O. CARVALHO, A. M. M. L. TRUGILHO, P. F. MELO, I. C. N. A. OLIVEIRA, A. C. **ESTUDO DA DEGRADAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE Eucalyptus ATRAVÉS DE TERMOGRAVIMETRIA E CALORIMETRIA.** Revista Árvore. Viçosa, Minas Gerais, v. 37, n. 3, p. 567 – 576, 2013.

PEREIRA, B. L. C. CARVALHO, A. M. M. L. OLIVEIRA, A. C. SANTOS, L. C. CARNEIRO, A. C. O. MAGALHÃES, M. A. **EFEITO DA CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA NA ESTRUTURA ANATÔMICA E DENSIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE EUCALYPTUS.** Ciência florestal. Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 545 – 557, 2016.

PINTO, M. N. 1969. **Contribuição ao Estudo da Influência da Lavoura Especulativa do Sisal no Estado da Bahia.** Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, v. 31- 3, p. 1 – 178.

PIRAYESH, H. KHAZAEIAN, A. SALARI, A. **Effect of using walnut/almond shells on the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard.** Composites Part B: Engineering, v. 45, n. 1, p. 858 – 863, 2013.

PIRAYESH, H. KHAZAEIAN, A. TABARSA, T. **The potential for using walnut (Juglans regia L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing.** Composites Part B: Engineering, v. 43, n. 8, P. 3276 – 3280, 2012.

QING HAO. **Beautiful Vibrations - Understand Phonons for Heat Transfer.** Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering, v. 1, n. 1, 2012.

RBIHI, S. LAALLAM, L. SAJIEDDINE, M. JOUAITI, A. **Characterization and thermal conductivity of cellulose based composite xerogels.** Heliyon. V. 5, 8p. 2019.

ROCHA, P. I. O. FARIAS, V. S. O. ROCHA, V. P. T. **Desempenho Térmico de Residência no Semiárido Paraibano: Estudo de caso.** Brazilian Journal of Development. Curitiba, v. 6, n. 9, p.69766 – 69774, set/2020.

ROCHA, P. I. O. ROCHA, V. P. T. FARIAS, V. S. O. FARIAS, E. E. **DESEMPENHO TÉRMICO DE RESIDÊNCIA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: ESTUDO DE CASO.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Maceió, 2018.

- ROCHA, V. P. T. **CONFORTO TÉRMICO DE RESIDÊNCIA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: ESTUDO DE CASO**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.
- ROSA, L. C. SANTOR, C. G. LOVATO, A. ROSA, C. S. GÜTHS, S. **Use of rice husk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector**. Journal of cleaner Production, v. ?, n. 104, p. 90 – 97, 2015.
- SANTOS, E. M. C. SILVA, O. A. **SISAL NA BAHIA – BRASIL**. Mercator, Fortaleza, v. 16, e16029, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16029>.
- SANTOS, W. L. F. SILVA, A. J. P. CABRAL JÚNIOR, A. A. MERCURY, J. M. R. **FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA TAUARI (Couratari oblongifolia) UTILIZANDO RESINA POLIURETANA DE MAMONA**. Scientia Agraria, v. 14, n. 3, p. 95 – 101, 2013.
- SANTOS, W. N. FILHO, R. G. **Método de Fio Quente na Determinação das Propriedades Térmicas de Polímeros**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 14, n. 5, p. 354 – 359, 2004.
- SARTORI, D. L. CRAVO, J. C. M. BARRERO, N. G. B. FIORELLI, J. SAVASTANO JUNIOR, H. **Painel em Madeira de Reflorestamento e Chapas de Partículas para Instalações Rurais**. Floresta e Ambiente. 2012a. ISSN 1415-0980 (impresso), v. ?, n. 19, p. 171 – 178.
- SARTORI, D. L. **PAINEL PORTANTE ESTRUTURAL COM CHAPA DE PARTÍCULAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E RESINA DE MAMONA PARA CENTRO DE MANEJO BOVINO**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2012b, 131 p.
- SCATOLINO, M. V. COSTA, A. O. GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. PROSTÁSIO, T. P. MENDES, R. F. MENDES, L. M. **Eucalyptus wood and coffee parchment for Particleboard production: Physical and mechanical properties**. Ciência e agrotecnologia, v. 41, n. 2, p. 139 – 146, 2017.
- SHACKELFORD, J. F. Introduction to materials Science for engineers. English Edition. 8º Ed. 2015. 687p.
- SIAS, D. B. **CONDUTORES E ISOLANTES TÉRMICOS**. Disponível em: <http://penta3.ufrgs.br/CESTA/fisica/calor/condutoreseisolantes.html>. Acesso em 05 de novembro de 2020.
- SILVA, F. M. F. **ESTUDO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO INOVADORES**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- SILVA, J. C. OLIVEIRA, J. T. S. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS DA MADEIRA DE Eucalyptus saligna Sm., EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE RELATIVA DO AR**. Revista Árvore, v. 27, n. 2, 2003.
- SILVA, J. C. **PARÂMETROS CONSTRUTIVOS PARA PAINÉIS VERTICAIS ADAPTADOS DO SISTEMA WOOD FRAME EM MADEIRA DE EUCALIPTO JOVEM**.

2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SILVA, O. R. R. F. COUTINHO, W. M. CARTAXO, W. V. SOFIATTI, V. FILHO, J. L. S. CARVALHO, O. S. COSTA, L. B. **CULTIVO DO SISAL NO NORDESTE BRASILEIRO**. Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento. Circular Técnica - EMBRAPA, Campina Grande, p. 1 - 24, 2008.

SPINELLI, R. CAMBEIRO, F. P. KONRAD, O. **Estudo de materiais naturais para aplicação em isolamento térmico de edificações**. 2018. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 9, n. 3, p. 121 – 135.

STORY BOARD THAT. **CONDUCTION, CONVECTION, RADIATION**. Disponível em: <https://www.storyboardthat.com/storyboards/7a6c4652/conduction-convection-radiation>. Acesso em 27 de outubro de 2021.

TAHA, I. ELKAFIFY, M. S. MOUSLY, H. E. **Potential of utilizing tomato stalk as raw material for particleboards**. Ain Shams Engineering Journal. Cairo, v. 9, n. 4, p. 1457 – 1464, Dez., 2018.

TANGJUANK, S. **Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves**. International Journal of Physical Sciences, v.6, n.19, p.4528-4532, 2011.

WATANABE, R. M. PASSEANDO PELA NATUREZA – SISAL. Disponível em: <http://www.ebanataw.com.br/natureza/sisal.php>. Acesso em 05 de novembro de 2020.

TECNOTERMO ISOLANter Térmicos. FELTRO DE LAMELAS – LAMEL MAX. Disponível em: <https://www.tecnotermo.com.br/lamel-max>. Acesso em 13 de Janeiro de 2022.

TRIANOSKI, R. PICCARDI, A. B. R. IWAKIRI, S. MATOS, J. L. M. BONDUELLE, G. M. **INCORPORAÇÃO DE GREVILLEA ROBUSTA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMEADO DE PINUS**. Floram – Floresta e Ambiente, v. 2, n. 23, p. 278 – 285, 2016.

VARANDA, L. C. NASCIMENTO, M. F. CHRISTOFORO, A. L. SILVA, D. A. L. LAHR, F. A. R. **OAT HULLS AS ADDITION TO HIGH DENSITY PANELS PRODUCTION**. Materials Research. V.6, n. 16, p. 1355 – 1361, 2013.

WECHSLER, A. ZAHARIA, M. CROSKY, A. JONES, H. RAMIREZ, M. BALLERINI, A. NUNEZ, M. SAHAJWALLA, V. **Macadamia (Macadamia integrifolia) shell and castor (Rícinos communis) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard**. Materials and Design, v. 50, p. 117 – 123, 2013.

WIEBECK, H. HARADA, J. **PLÁSTICOS DE ENGENHARIA- TECNOLOGIA E APLICAÇÃO**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, vol. 1, 2005, 353p.

YARBROUGH, D. W. WILKES, K . E. OLIVER, P. A. GRAVES, R. S. VOHRA, A. **Apparent Thermal Conductivity Data and Related Information for Rice Hulls and Crushed Pecan Shells.** 2005.

YANG, H. YAN, R. CHEN, H. LEE, D. H. ZHENG, C. **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis.** FUEL, v. 89, p. 17,81 – 1788, 2007.

YENIOCAK, M. GÖKTAS, O. ERDIL, Y. ÖZEN, E. **INVESTIGATING THE USE OF VINE PRUNING STALKS (VITIS VINIFERA L. CV. SULTANI) AS RAW MATERIAL FOR PARTICLEBOARD MANUFACTURING.** Wood Research, v. 59, n. 1, p. 167 – 176, 2014.

ZAFERANI, S. H. GHOMASHCHI, R. VASHAEE, D. **Strategies for engineering phonon transport in Heusler thermoelectric compounds.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 112, n.?, p. 158 – 169, 2019.

ZHOU, XIAO-YAN. ZHENG, FEI. LI, HUA-GUAN. LU, CHENG-LONG. **An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers.** Energy and Buildings, v. 42, p. 1070 – 1074, 2010.

ANEXOS I



Kehl Ind e Com Ltda – ME
 R. Italo Paino, 700 / Jd. Industrial - São Carlos – SP
 CEP 13564-610 Tel/Fax: (16) 3361-2122
kehl@kehl.ind.br - www.kehl.ind.br

AG201 Data Sheet

1. Características

Material: Polímero bi componente
 Forma: Líquido
 Cor: Marrom (componente A) – Amarelo (componente B)
 Odor: Típico
 Ponto de congelamento: < 0 °C
 Ponto de ebulição: > 94 °C
 Solubilidade em água: Não solúvel
 Densidade aproximada: 1,2kg/m³
 Tempo de tato: de 20 a 40 minutos
 Tempo de cura: de 2 a 3 horas a temperatura ambiente
 Proporção B:A em peso: 2:1 partes

HMIS Rating

Health2

Flammability1

Physical Hazard.....1

0=Insignificant 1=Slight 2=Moderate
 3=High 4=Extreme

2. Manuseio

Usar luvas, roupa de segurança e óculos de proteção. Usar em local ventilado.

3. Aplicação

Aplicar em substratos limpos, secos e isentos de água, óleo e graxas. O tempo para manuseio após mistura do componente A é de aproximadamente 10 minutos. A cura pode ser acelerada se submetido a pressão e temperatura de 60°C a 110°C (tempo estimado de 15 minutos).

4. Armazenamento

Local: seco e coberto por até 6 meses
 Temperatura: mínima de 15°C e máxima de 35°C
 Após aberto: usar em no máximo 30 dias

5. Cuidados

Olhos: causa irritação ou até mesmo conjuntivite. Em contato com os olhos, lave imediatamente por pelo menos 10 minutos. Utilize os dedos para separar as pálpebras. Chame um medico imediatamente.

Pele: pode causar irritação. Em contato com a pele, lave com água e sabão. Caso ocorra irritação do local afetado, procure um medico.

Ingestão: causa náuseas. Caso ocorra a ingestão, não provoque vomito. Lave a boca com água. Procure imediatamente um médico.

Informações para o médico: contem misturas de diisocianato de difenilmetano.

6. Classificação

Classe de transporte: 9
 Grupo de transporte: III