



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



FÁBIO SILVA DE OLIVEIRA

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO DE RESINA
UREIA-FORMALDEÍDO E BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA**

VOLTA REDONDA

2025

FÁBIO SILVA DE OLIVEIRA

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO DE RESINA
UREIA-FORMALDEÍDO E BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais polímeros e compósitos e linha de pesquisa em materiais compósitos.

Orientador: Profa.Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

Coorientador: Profa.Dra. Ana Carolina Callegario Pereira

VOLTA REDONDA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tação Wagner - CRB 7/RJ 4316

O48f Oliveira, Fábio Silva de
Fabricação e caracterização de um compósito de resina ureia-formaldeído e biomassa da casca da mandioca. / Fábio Silva de Oliveira. - Volta Redonda: UniFOA, 2025. 79 p. II

Orientador (a): Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira
Coorientador (a): Profa. Dra. Ana Carolina Callegario Pereira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2025

1. Materiais - dissertação. 2. Compósitos lignocelulósicos. 3. Compósitos verdes. 4. Biomassa. 5. Materiais sustentáveis – reciclagem. I. Bandeira, Cirlene Fourquet. II. Pereira, Ana Carolina Callegario. III. Centro Universitário de Volta Redonda. IV. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



FÁBIO SILVA DE OLIVEIRA

FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO DE RESINA
UREIA-FORMALDEÍDO E BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cirlene Fourquet Bandeira

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
"MESTRE EM MATERIAIS"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS

Roberto de Oliveira Magnago

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Cirlene Fourquet Bandeira

Prof.^a Dr.^a Cirlene Fourquet Bandeira
Presidente / UniFOA

Izabel de Oliveira Mota

Prof.^a Dr.^a Izabel de Oliveira da Mota
Examinador interno / UniFOA

André Marques dos Santos

Prof. Dr. André Marques dos Santos
Examinador externo / UFRRJ

Junho de 2025

DEDICATÓRIA

Dedico a minha esposa Rosana Costa Ramos e meus filhos, Fábio Filipe Ramos de Oliveira, Fernando Alison Ramos de Oliveira e Fernanda Ramos de Oliveira, meu pai José Gonçalves de Oliveira e minha mãe (In Memoria), Maria das Graças Silva de Oliveira, por estarem apoiando minhas decisões que muitas vezes sacrifica a todos, mas que tenham a certeza que todo sacrifício é na esperança de um futuro melhor para todos, amo vocês! Te amo Rosana!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha esposa Rosana, meus filhos Fábio Filipe, Fernando Alison e Fernanda, meus amigos, ao tio da minha esposa que tem um sacolão, o Geraldo Costa Alves, dono do Hort-fruit Paraíso que doou os restos de aparas de mandioca para retirar as cascas para o reforço, ao meu amigo e antigo patrão Vagner Nóbrega de Solsa (EMPRESA SERVMONT LTDA) que me incentivou e me deu uma ajuda financeira à minha volta aos estudos na graduação e doou o material para a confecção da forma metálica para prensagem dos compósitos, ao professor Rui Aurélio que levou o folder do MEMAT para sala de aula e me apresentou a proposta do mestrado de materiais, para iniciação como aluno especial, ao professor Alexandre Palmeira, que me incentivou ainda na graduação, no último período que eu ingressasse no mestrado, ao professor Alexandre Habib, enquanto não tinha ainda definido a minha orientação, mas já tinha um material idealizado a caracterizar, me passou as primeiras dicas que de forma ainda artesanal e sem conhecimento bibliográfico consegui com as suas dicas de como obter e preparar as fibras fui feliz na empreitada, e todo corpo docente que compartilharam seus conhecimentos nos dando uma base para que consigamos desenvolver nossas pesquisas, as secretárias, assistentes, aos técnicos dos laboratórios que nos ajudam e dão suporte para o desenvolvimento das nossas pesquisas ao coordenador Prof. Dr Roberto de Oliveira Magnago, a minha orientadora que é muito disponível e apaixonada pelo que faz Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira, minha coorientadora Profa. Dra. Ana Carolina Callegario Pereira e aos membros da banca examinadora, aos professores que tive nessa jornada no MEMAT, à todos da FOA/MEMAT que dedicam seu tempo e fizeram parte da minha trajetória direta ou indiretamente, fico feliz de estar nesse momento agradável de agradecer, se estou agradecendo é porque ganhei algo de muito bom, talvez não de um valor numérico, mas de um valor sentimental, valor humano, de atenção, espero um dia poder retribuir à todos principalmente o tempo e a atenção a mim desprendidos.

À todos o meu obrigado!

EPÍGRAFE

"Somos o que fazemos, mas somos, principalmente, o que fazemos para mudar o que somos."

Eduardo Galeano, 1984.

Oliveira, S. F. **FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO DE RESINA UREIA-FORMALDEÍDO E BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA**. 2025. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2025.

RESUMO

A crescente demanda por alternativas sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais, com vistas à redução do impacto ambiental e à valorização de resíduos agroindustriais. Este trabalho investiga a fabricação e caracterização de compósitos à base de resina ureia-formaldeído reforçados com biomassa de casca de mandioca, avaliando suas propriedades físicas, térmicas e mecânicas. Parte da biomassa foi submetida a tratamento hidrotérmico (121 °C por 45 min) visando melhorar sua compatibilidade com a matriz polimérica. Os compósitos foram formulados com diferentes proporções de reforço tratados e *in natura* (20%, 40% e 50%) e caracterizados por meio de análises termogravimétricas (TGA), teor de umidade, dureza Shore D, resistência ao arrancamento de parafuso, tração, flexão, absorção de água e inchamento. Os resultados demonstraram que a adição da fibra tratada promoveu melhor desempenho do compósito, com estabilidade térmica compatível com a aplicação industrial e propriedades mecânicas satisfatórias. Os materiais desenvolvidos foram classificados como de alta densidade, sendo promissores para aplicação em mobiliário, pisos e painéis, aliando desempenho técnico à sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: compósitos lignocelulósicos; compósitos verdes; biomassa; materiais sustentáveis; reciclagem.

OLIVEIRA, S. F. **MANUFACTURE AND CHARACTERIZATION OF A COMPOSITE OF UREA-FORMALDEHYDE RESIN AND CASSAVA HUSK BIOMASS.** 2025. Dissertation (Professional Master in Materials) - Oswaldo Aranha Foundation, Volta Redonda University Center- UniFOA, Volta Redonda- RJ, Brazil, 2025.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable alternatives has driven the development of polymer composites reinforced with natural fibers, aiming to reduce environmental impact and recover agro-industrial waste. This work investigates the fabrication and characterization of urea-formaldehyde resin-based composites reinforced with cassava peel biomass, evaluating their physical, thermal, and mechanical properties. Part of the biomass was subjected to hydrothermal treatment (121°C for 45 min) to improve its compatibility with the polymer matrix. The composites were formulated with different proportions of treated and natural reinforcement (20%, 40%, and 50%) and characterized by thermogravimetric analysis (TGA), moisture content, Shore D hardness, screw pullout strength, tensile strength, flexural strength, water absorption, and swelling. The results demonstrated that the addition of the treated fiber promoted improved composite performance, with thermal stability compatible with industrial applications and satisfactory mechanical properties. The materials developed were classified as high-density, promising for use in furniture, flooring and panels, combining technical performance with environmental sustainability.

Keywords: lignocellulosic composites; green composites; biomass; sustainable materials; recycling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de classificação dos materiais compósitos	22
Figura 2. Mandioca.....	27
Figura 3. Reação de formação da resina uréia-formaldeído.....	34
Figura 4. Casca de mandioca in natura.....	35
Figura 5. Reação de formação da resina uréia-formaldeído.....	36
Figura 6. Equipamento de agitação de peneiras da marca SOLOTESTE.....	37
Figura 7. Mistura manual dos materiais para obtenção dos compósitos.....	40
Figura 8. Preparação dos corpos de prova para formação de placas.....	40
Figura 9. Processo de desenformar os corpos de prova para formação de placas.....	41
Figura 10. Corpos de prova utilizados para determinação de umidade.....	42
Figura 11. Corpos de prova utilizados para determinação de umidade.....	43
Figura 12. Corpos de prova utilizados para determinação de umidade.....	44
Figura 13. Montagem do ensaio de resistência ao parafuso no equipamento de ensaio mecânico universal modelo EMIC- DL1000.....	45
Figura 14. Preparação dos corpos de prova para o ensaio de resistência ao arrancamento do parafuso.....	45
Figura 15. Corpos de prova de tração de acordo com a norma ASTM D638 com dimensões em mm.....	46
Figura 16. Equipamento de ensaio mecânico universal modelo EMIC- DL10000.....	46
Figura 17. Ensaio de flexão em três pontos - EMIC- DL10000.....	47
Figura 18. Resultado da moagem das cascas.....	48
Figura 19. Porção contendo o material retido em 100 meshes e fundo.....	50
Figura 20. Tratamento hidrotérmico da biomassa de mandioca.....	50

Figura 21. Biomassa obtida após o tratamento hidrotérmico.....	51
Figura 22. Mistura dos componentes para obtenção da resina ureia-formaldeído.....	52
Figura 23. Curvas de TGA e DTG das biomassas da casca da mandioca <i>in natura</i>	54
Figura 24. Curvas de TGA e DTG das biomassas da casca da mandioca tratada.....	54
Figura 25. Curvas de TGA e DTG da resina ureia-formaldeído.....	55
Figura 26. Aspecto do compósito, após curado, obtido com a fibra <i>in natura</i>	56
Figura 27. Aspecto do compósito, após curado, obtido com a fibra tratada.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidades necessárias para o preparo usando 100 g da resina uréia-formaldeído.....	38
Tabela 2. Proporções usadas nas misturas do compósito de fibras <i>in natura</i> ou tratadas.....	39
Tabela 3. Análise granulométrica da fibra de mandioca <i>in natura</i>	49
Tabela 4. Variação de massa das amostras após tratamento hidrotérmico.....	51
Tabela 5. Teor de Umidade dos painéis compósitos.....	57
Tabela 6. Valores médios das densidades aparentes dos compósitos.....	58
Tabela 7. Valores máximos e mínimos das variações percentual da densidade.....	59
Tabela 8. Valores médios do teste de inchamento após 24 horas de imersão em água deionizada.....	60
Tabela 9. Valores médios de dureza Shore D.....	61
Tabela 10. Resultados dos ensaios de arrancamento do parafuso da FN (fibra natural) + UF (resina ureia-formaldeído) lado topo.....	62
Tabela 11. Resultados dos ensaios de arrancamento do parafuso da FT (fibra tratada) + UF (resina ureia-formaldeído) lado topo.....	62
Tabela 12. Resultados dos ensaios de arrancamento do parafuso da FN (fibra natural) + UF (resina ureia-formaldeído) lado face.....	63
Tabela 13. Resultados dos ensaios de arrancamento do parafuso da FT (fibra tratada hidrotermicamente) + UF (resina ureia-formaldeído) lado face.....	64
Tabela 14. Resultados dos ensaios de tração da FN (fibra natural) / Resina UF (ureia-formaldeído)	65
Tabela 15. Resultados dos ensaios de tração da FT (fibra tratada hidrotermicamente) / Resina UF (ureia-formaldeído)	65
Tabela 16. Resultados dos ensaios de flexão da FN (fibra natural) / Resina UF (ureia-formaldeído)	67

Tabela 17. Resultados dos ensaios de flexão da FT (fibra tratada hidrotermicamente) / Resina UF (ureia-formaldeído)	67
---	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	41
Equação 2.....	42
Equação 3.....	42
Equação 4.....	43
Equação 5.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Comprimento (mm)
D	Densidade (kg.m^{-3})
DTG	Derivada da termogravimetria
e	Espessura (mm)
E_0	Espessura inicial (mm)
E_1	Espessura do corpo de prova após imersão por 24 h (mm)
FN	Fibra natural
FT	Fibra tratada hidrotermicamente
HCN	Ácido cianídrico
HD	Hardboard
HDF	High Density Fiberboard
I	Inchamento em espessura do corpo de prova (%)
k	Quilo
l	Largura (mm)
LVL	Laminated Veneer Lumber
M	Massa do corpo (g)
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MeMat	Mestrado Profissional em Materiais
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
M_s	Massa do corpo de prova seco (g)

Mu	Massa úmida do corpo de prova (g)
NBR	Norma brasileira
OSB	Oriented Strand Board
PEBD	Polietileno de baixa densidade
TGA	Análise termogravimétrica
U	Teor de umidade do corpo de prova (%)
UF	Ureia-formaldeído
V	Volume do corpo de provas (mm ³)
WB	Waferboard
%	Percentual
°C	Grau Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	19
1.2 OBJETIVOS.....	20
1.2.1 Objetivos Específicos	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.....	21
2.2 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA	23
2.3 REFORÇO COM FIBRAS NATURAIS	24
2.4 FIBRAS NATURAIS DA CASCA DA MANDIOCA	26
2.5 ADESIVOS	29
2.6 RESINA UREIA-FORMALDEÍDO	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 MATERIAIS	35
3.2 MÉTODOS.....	35
3.2.1 Obtenção da biomassa da casca da mandioca	35
3.2.2 Granulometria da biomassa da casca da mandioca	36
3.2.3 Obtenção da biomassa da casca da mandioca tratada - Tratamento hidrotérmico	37
3.2.4 Obtenção da resina base do processo (ureia-formaldeído)	38
3.2.5 Análise termogravimétrica (TGA)	39
3.2.6 Obtenção dos compósitos	39
3.2.7 Preparação dos corpos de prova	40
3.2.8 Teor de umidade	41

3.2.9 Densidade média	42
3.2.10 Inchamento por 24 h	43
3.2.11 Dureza Shore D	44
3.2.12 Ensaio de resistência ao arrancamento do parafuso	44
3.2.13 Ensaio de tração	46
3.2.14 Ensaio de flexão	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 OBTENÇÃO DA BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA.....	48
4.2 GRANULOMETRIA DAS FIBRAS IN NATURA	48
4.3 OBTENÇÃO DA BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA TRATADA - TRATAMENTO HIDROTÉRMICO	50
4.4 OBTENÇÃO DA RESINA BASE DO PROCESSO (UREIA-FORMALDEÍDO)	51
4.5 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)	53
4.6 OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS	56
4.7 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	56
4.8 TEOR DE UMIDADE	57
4.9 DENSIDADE MÉDIA	58
4.10 INCHAMENTO POR 24 H	59
4.11 DUREZA SHORE D	60
4.12 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO PARAFUSO.....	62
4.13 ENSAIO DE TRAÇÃO	64
4.14 ENSAIO DE FLEXÃO	66
5 CONCLUSÕES	68
6 TRABALHOS FUTUROS	69

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXO 1.....	77

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo relatório de Brundtland (1991), o conceito de desenvolvimento sustentável seria aquele que atenda às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas necessidades. Desta forma a busca por modelos que se enquadram neste conceito tem mostrado que idéias anteriormente antagônicas como, o lucro, o bem estar social e preservação ambiental, podem estar harmonicamente ligadas. O não entendimento deste conceito tem levado a posturas errôneas com grande perda tanto para as atuais, quanto para as futuras gerações (BRUNDTLAND, 1991).

Na procura por adequações e tecnologias sustentáveis que atendam ao mercado consumidor e possam dar qualidade de vida as populações, vários compósitos vêm sendo criados. Dentre estes os “materiais verdes” vem ganhando destaque por utilizarem, pelo menos, um componente de origem renovável (COSTA, 2018; RODRIGUES; SOUZA; FUJIYAMA, 2015).

Em muitas regiões, com condições econômicas e sociais fragilizadas ou com situação ambiental degradante, pode-se obter benefícios econômicos, sociais e ambientais ao aproveitar resíduos ricos em fibras naturais, provenientes de culturas agrícolas, que em geral geram grandes quantidades de rejeitos durante o seu cultivo e/ou processamento (KOTIK,2019).

Estes materiais, podem ter procedências variadas, como é o caso da casca da mandioca que representa cerca de 15% desta raiz e promove um descarte de, aproximadamente, 2,7 toneladas por ano (2022) em aterros sanitários causando problemas ambientais (SEBRAE, 2024).

Além deste material, para fabricação de compósitos, a resina ureia-formaldeído, vem se destacando como matriz, cuja função é de adesivo para a colagem de diversos polímeros de origem vegetal, largamente utilizado em indústrias moveleiras e de revestimentos de pisos (GOMES et al., 2017; MARINELLI et al., 2008).

Dentro deste contexto, este trabalho visa desenvolver um compósito de resina ureia-formaldeído e casca da mandioca, para aplicações em placas para confecção de pisos, bancadas, móveis, entre outros, de forma sustentável e ecologicamente correta, de forma a se reaproveitar materiais outrora descartados, diminuindo a extração de árvores, bem como contribuir para a mitigação de descarte em aterros sanitários.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é: obter e analisar um material compósito de ureia-formaldeído e casca da mandioca nas proporções de 20%, 40% e 50% de reforço.

1.2.1 Objetivos específicos

Este trabalho tem por objetivos específicos:

- Tratar hidrotérmicamente as fibras obtidas das cascas de mandioca, visando melhorar a adesão na matriz e reforço.
- Caracterizar as fibras *in natura* e tratadas hidrotérmicamente pela técnicas de termogravimetria (TGA).
- Caracterizar amostras da resina ureia-formaldeído.
- Preparar compósitos de ureia-formaldeído com reforços contendo biomassa da casca da mandioca.
- Caracterizar os compósitos por meio de ensaios mecânicos e térmicos.
- Avaliar o desempenho dos compósitos obtidos, comparando os mesmos com a resina pura e com dados encontrados na literatura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

No último século, a necessidade crescente de novos materiais que atendam às especificações de projeto, vem fazendo com que materiais compósitos, resultantes da combinação macroscópica de dois ou mais materiais que resultam na obtenção de um produto com propriedades superiores às de seus constituintes, venham ganhando espaço no mercado (BANDEIRA, 2015; CARVALHO, 2019).

Neste contexto, o desenvolvimento de compósitos verdes, onde pelo menos um dos produtos é de origem renovável, tem crescido, seja por sua maior degradabilidade, pela busca por materiais não agressivos ao meio ambiente, especialmente os que envolvem a utilização de fibras vegetais ou pela redução de custos (SILVA, 2024).

As fibras vegetais, especialmente as recicladas, quando usadas como reforço, apresentam inúmeras vantagens tais como diminuição da densidade do compósito, menor abrasão no processamento, maior rigidez devido aos maiores índices de preenchimento, elevado módulo específico, degradabilidade em menor tempo e custo menor em comparação às cargas inorgânicas (CORRADINI et al., 2008; COSTA, 2018).

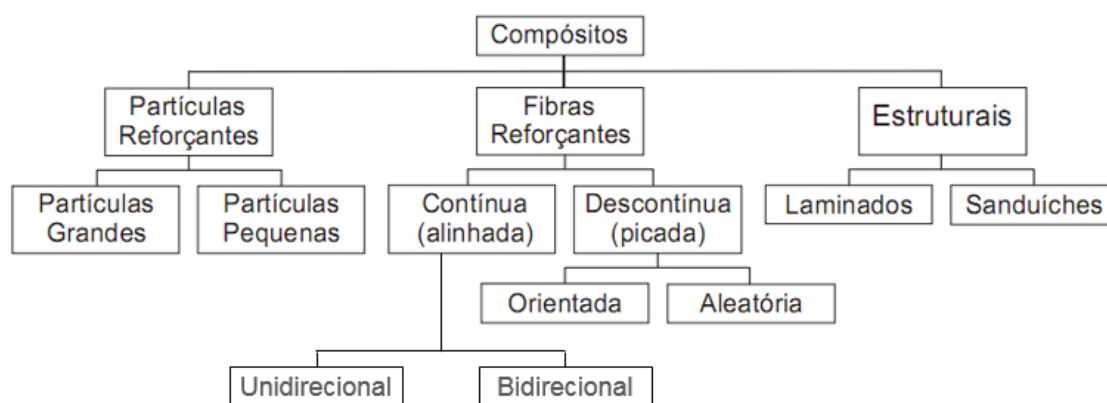
Os compósitos, em geral, são constituídos por duas fases distintas denominadas matriz, cuja função é a de proteger e transferir os esforços para o reforço. Esta fase pode ser um material polimérico (termoplástico ou não), metálico ou cerâmico (BANDEIRA, 2015, COSTA, 2018).

O reforço, que tem a função de suportar as solicitações sofridas pelo compósito, pode ser composto por fibras (contínuas ou não), material particulado, entre outros (BANDEIRA, 2015; CARVALHO, 2019).

Para se obter as propriedades desejadas, selecionam-se os materiais que devem ser conjugados para formar o compósito. Desta forma, os materiais compósitos apresentam um vasto espectro de aplicações nas mais diversas áreas (BANDEIRA, 2015).

Estes materiais compósitos, podem ser classificados de formas distintas, mas é comum sua classificação morfológica baseada em seus constituintes, como apresentado na figura 1 (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

Figura 1- Esquema de classificação dos materiais compósitos



Fonte: COSTA, 2018

Vários trabalhos têm sido feitos no sentido de desenvolver compósitos, tais como o de Costa (2018) apresentou novos processos e metodologia de fabricação e reciclagem para obtenção de compósitos verdes de macadâmia com resina benzoxazina *in natura* e hidrotérmicamente tratada. Os resultados demonstraram que a Tg (transição vítrea) da resina, praticamente, não foi afetada pela presença do reforço, o que permitia seu uso na manufatura de diversos artefatos sem prejuízo para a temperatura de trabalho da resina.

Nesta mesma linha, o trabalho de Carvalho (2019) surgiu como uma outra opção que manufaturou compósitos de resíduo de açaí e resina benzoxazina, apresentou resultados que mostram que os valores das temperaturas de degradação não sofreram modificações acentuadas em comparação aos da resina pura e que os valores de Tg, aumentam com o acréscimo de fibras. Com isso, estas fibras, diminuem a quantidade de matriz polimérica, contribuindo com o meio ambiente pela reciclagem e expande a faixa de aplicabilidade, podendo diminuir o custo da peça final.

Além destes, Silva (2024), mostrou que compósitos de PEBD (Polietileno de baixa densidade) reforçado com cascas da castanha do brasil apresentam aumento do módulo elástico e da tensão de escoamento, quanto maior for o percentual de

reforço, permitindo que o material obtido contribua para a diminuição de polímeros não renovável e redução do descarte de resíduos da agroindústria.

Entretanto, o desenvolvimento de novos trabalhos é dinâmico e incessantes. Isso pode ser observado pela alta demanda de painéis de madeira reconstituída no Brasil que faz com que haja um aumento pela incorporação de materiais alternativos e não apenas materiais derivados da madeira sólida que, após terem seus elementos reduzidos, são novamente unidos por meio de um agente adesivo (IWAKIRI et al., 2005; KATSUKAKE, 2009; MACHADO et al. 2020).

Entre as diversas matérias-primas alternativas, as fibras de mandioca emergem como um material promissor, especialmente considerando o grande volume de resíduos gerados a partir da casca (MACHADO, 2020).

2.2 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA

Os painéis de madeira reconstituída representam uma categoria de materiais rígidos, resultantes do processamento mecânico de madeira in natura. Esse processo transforma troncos de árvores em placas de estrutura organizada, onde os elementos de madeira são aglutinados por meio de adesivos sintéticos ou naturais, sob a aplicação de pressão e temperatura (KATSUKAKE, 2009).

De acordo com Iwakiri et al. (2005), esses painéis podem ser definidos como produtos compostos por elementos de madeira que, após serem obtidos da redução da madeira sólida, são reconstituídos por meio do uso de materiais adesivos.

A classificação dos painéis de madeira reconstituída pode ser feita em três grupos principais: compostos particulados, compostos laminados e compostos à base de fibras.

- Compostos Particulados: Incluem os painéis de madeira aglomerada, como o MDP (Medium Density Particleboard). Também fazem parte deste grupo os painéis de "tiras" de madeira não orientada (WB - Waferboard) e os painéis de "tiras" de madeira orientada (OSB - Oriented Strand Board) (KATSUKAKE, 2009; YOUNGQUIST, 1998).

- Compostos Laminados: Compreendem os painéis de madeira compensada (Plywood), os painéis de madeira sarrafeada e os painéis LVL ou Laminated Veneer Lumber (KATSUKAKE, 2009).
- Compostos à Base de Fibras: Nesta categoria, encontram-se os painéis de fibra isolante (IC), a chapa de fibra (HD - Hardboard), os painéis de fibra de média densidade (MDF - Medium Density Fiberboard) e os painéis de fibra de alta densidade (HDF - High Density Fiberboard) (MACHADO et al., 2020; YOUNGQUIST, 1998).

2.3 REFORÇO COM FIBRAS NATURAIS

As fibras naturais são temas recorrentes em pesquisas como alternativa sustentável e de alto desempenho aos compósitos sintéticos tradicionais (KOTIK, 2019).

Estes materiais podem ter origem vegetal ou animal e podem ser utilizadas como reforço em matrizes poliméricas, metálicas ou cerâmicas para formar compósitos (NETO, 2023).

Sua principal vantagem reside no fato delas serem um recurso renovável, biodegradável e com baixa densidade, além de apresentarem boa relação resistência- peso e propriedades isolantes (NETO, 2023).

As fibras vegetais são as mais comumente empregadas, incluindo:

- Fibras celulósicas: São aquelas que possuem celulose e podem ser obtidas de diversas fontes como madeira, algodão e cânhamo. Estas são as mais abundantes e acessíveis (GUIMARÃES, 2014);
- Fibras lenhosas: são células vegetais mortas, alongadas e com paredes espessas, encontradas no xilema (tecido condutor de água e nutrientes nas plantas), obtidas em madeiras e resíduos agrícolas (AZZINI et al. 1993; RODRIGUES; AMANO; ALMEIDA, 2015);
- Fibras não-lenhosas: São fibras vegetais que não são derivadas de madeira (tecidos lenhosos), provenientes de caules, folhas e frutos, como o sisal, juta, linho, rami, coco e bambu (RAMESHA; PALANIKUMARB; HEMACHANDRA, 2017).

Apesar das vantagens, a utilização de fibras naturais em compósitos apresenta alguns desafios tais como:

- Higroscopicidade - tendência de absorver umidade que pode afetar as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional do compósito. Neste caso, tratamentos químicos nas fibras são frequentemente utilizados para mitigar este problema (BENINI, 2011);
- Variação de Propriedades - as propriedades das fibras naturais podem variar significativamente dependendo da origem, condições de cultivo e métodos de processamento (PEREIRA; ALMEIDA; PAULA, 2021);
- Compatibilidade com a Matriz - A adesão interfacial entre a fibra e a matriz polimérica é crucial para o desempenho do compósito (BANDEIRA, 2015; COSTA, 2018);
- Temperatura de Processamento - Algumas fibras naturais podem degradar-se em temperaturas elevadas, limitando o tipo de matriz polimérica e processo de fabricação (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

Estes materiais compósitos reforçados com fibras naturais têm seu uso justificado com argumentos tais como benefícios sociais, boas propriedades físico/mecânicas, baixo custo e por serem ambientalmente corretos (KOTIK, 2019).

O principal dos argumentos, materiais ecológicos (fibra natural), está baseado em um variado número de fatores. Entre estes se destacam: a natureza biodegradável, que são oriundos de fontes renováveis e sua pegada de carbono (KOTIK, 2019).

Desta forma, estas fibras, como reforço em compósitos, vêm sendo empregadas em uma ampla gama de setores, com potencial de expansão contínuo.

Dentre estes setores podem ser citados a indústria automotiva (uso como: painéis internos de portas, porta-malas, encostos de bancos e revestimentos de teto) a de construção civil (em painéis de revestimento e isolamento, reforço de concretos e argamassas, etc), no setor moveleiro, na indústria náutica para compor cascos de pequenas embarcações e componentes internos, em artigos esportivos, entre outros tantos (BANDEIRA, 2015; SILVA, 2024).

A pesquisa e o desenvolvimento em compósitos de fibras naturais continuam a evoluir, buscando superar os desafios existentes e expandir ainda mais suas

aplicações, consolidando-os como uma solução promissora para um futuro mais sustentável (KOTIK, 2019).

2.4 FIBRAS NATURAIS DA CASCA DA MANDIOCA

A mandioca apresenta suas origens em tempos pré-colombianos com locais de cultivo que remontam a 5000 anos. Sua cultura se estende do Brasil até o México, sendo que é no primeiro que existem a maior diversidade do gênero *Manihot* (ALBUQUERQUE, 2008; FILGUEIRAS; HOMMA, 2016).

Em diversas culturas agrícolas do hemisfério ocidental, é comum que os produtores classifiquem as variedades de mandioca em duas categorias principais: doce e amarga. Essa distinção é feita com base na concentração de ácido cianídrico (HCN) presente em suas raízes (FUKUDA et al., 2002).

As variedades conhecidas como mandiocas doces são também popularmente chamadas de aipim, macaxeira ou mandioca mansa. Já as cultivares com maior teor de HCN (ácido cianídrico) são denominadas mandiocas bravas. Essa diferenciação é fundamental, pois determina o uso principal de cada tipo de mandioca: enquanto as variedades doces podem ser consumidas frescas por humanos e animais, as amargas geralmente necessitam de processamento para eliminar o cianeto antes do consumo (FUKUDA et al., 2002).

A cultura da mandioca foi domesticada, possivelmente, pelos índios tupis que habitavam a Bacia Amazônica (ALBUQUERQUE, 2008; FILGUEIRAS; HOMMA, 2016).

Uma das maiores heranças indígenas, a mandioca, um alimento fundamental em muitas culturas, iniciou sua expansão global após a descoberta das Américas. Foram os portugueses os primeiros a levar essa cultura do Brasil para a costa oeste da África no século XV (ALBUQUERQUE, 2008; SILVA; MURRIETA, 2014).

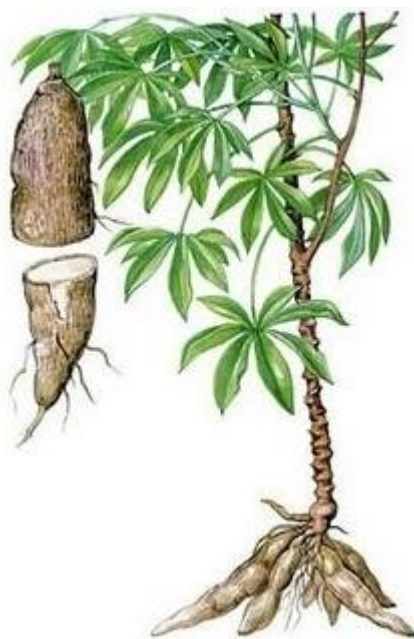
Mais tarde, no final do século XVII, a mandioca chegou a Madagascar, de onde se espalhou pela costa leste africana. No entanto, essa cultura foi introduzida, simultaneamente, em ambas as costas (leste e oeste) deste continente, o que contribuiu para a notável diversidade de espécies de mandioca encontradas aí hoje (ALBUQUERQUE, 2008; FILGUEIRAS; HOMMA, 2016; SILVA; MURRIETA, 2014).

Na Ásia, a disseminação da mandioca foi obra dos mercadores espanhóis no início do século XVII. Já por volta de 1800, a mandioca fez sua última grande viagem, indo da África para a Índia, onde rapidamente se estabeleceu como um alimento de grande importância e ampla distribuição (ALBUQUERQUE, 2008; FILGUEIRAS; HOMMA, 2016; SILVA; MURRIETA, 2014).

Atualmente, a mandioca é uma cultura de enorme relevância em todas as regiões tropicais do mundo. Sua versatilidade a torna essencial tanto para o consumo culinário e de subsistência em comunidades locais quanto para o uso industrial em larga escala (FILGUEIRAS; HOMMA, 2016; SILVA; MURRIETA, 2014).

A mandioca é uma planta dicotiledônea cuja Família *Euphorbiaceae*, pertence ao gênero *Manihot*, sendo uma das principais espécies cultivadas a *Manihot esculenta* Crantz (Figura 2) (SILVA; MURRIETA, 2014). Esta cultura possui uma relação intrínseca com a história e o desenvolvimento do Brasil, sendo particularmente ligada à agricultura familiar de pequena escala. Mesmo nos dias atuais, essa cultura continua a ser vital para a subsistência de milhões de pequenos agricultores, especialmente nas regiões setentrionais do país, desempenhando um papel crucial na dieta das comunidades rurais (SEBRAE, 2024; SILVA; MURRIETA, 2014; NUNES, 2020).

Figura 2- Mandioca



Fonte: NUNES, 2020.

Apesar da inegável importância da mandioca para o agronegócio, seu processamento em produtos finais acarreta a geração de uma quantidade considerável de resíduos. Quando esses subprodutos não são devidamente utilizados, eles se transformam em um problema ambiental significativo. Esse cenário ressalta a urgência de desenvolver e implementar práticas de gestão sustentável para mitigar o impacto ecológico da cadeia produtiva da mandioca (SEBRAE, 2024; VEIGA, 2012).

Para se ter uma dimensão do desafio, as cascas da mandioca representam uma parcela significativa do peso total das raízes, variando entre 10% e 15%, dependendo do método de descascamento utilizado (SEBRAE, 2024; VEIGA, 2012).

No entanto, o problema vai além das cascas. A parte aérea da planta, composta por ramos e folhas, corresponde a uma impressionante média de 60% da biomassa total produzida pela mandioca. Lamentavelmente, quase toda essa biomassa é desperdiçada no campo, representando uma perda considerável de recursos e potencial (SEBRAE, 2024).

Com projeções do IBGE de um crescimento na ordem de 3,6% na produção brasileira de mandioca, que vai atingir um total de 19,4 milhões de toneladas, a quantidade de casca produzida pode chegar a 2,9 milhões de toneladas. Esse aumento é atribuído tanto a um incremento de 1,8% na produtividade média, que alcançou 15,7 toneladas por hectare (t/ha), quanto à expansão da área a ser colhida, que chegou a 1,23 milhão de hectares (CEPEA, 2025).

Contudo, a utilização inteligente dos resíduos da mandioca oferece vantagens econômicas e de sustentabilidade notáveis. Ao implementar práticas de manejo sustentável, é possível reduzir o impacto ambiental negativo, convertendo o que seriam poluentes em recursos valiosos tais como energia ou como alimentação animal, gerando renda extra a partir da comercialização desses materiais residuais (SEBRAE, 2024).

A mandioca é uma fonte de diferentes tipos de fibras, tanto celulósicas (encontradas no caule) quanto não-lenhosas (encontradas nas raízes e folhas). O caule da mandioca, fornece fibras celulósicas que são importantes para a indústria de papel e celulose. Já as raízes desta planta, possuem fibras não-lenhosas, tais como pectina e ácido urônico que são benéficas a saúde humana, sendo fonte de alimento

em várias comunidades (AZZINI et al., 1996; OLIVEIRA et al., 2021; ONODU; CULAS; NWOSE, 2018).

Além dessas aplicações, esses, materiais tem sido usado em outros seguimentos, como é o caso do trabalho de Kariuki, Wachira, Kawira e Leonard (2019) que caracterizou protótipos de painéis particulados fabricados a partir da biomassa da casca de mandioca quimicamente modificada, obtendo-se painéis que podem ser utilizados em substituição aos painéis de partículas convencionais de baixa densidade.

No entanto, apesar de sua importância histórica e cultural, o cultivo da mandioca por esses agricultores passou por profundas transformações nos últimos dois séculos. Em algumas áreas de maior desenvolvimento econômico, como o estado de São Paulo, observou-se um acentuado declínio em sua produção (SEBRAE, 2024; SILVA; MURRIETA, 2014).

2.5 ADESIVOS

No contexto da fabricação de painéis, a NBR 14810-1 (ABNT, 2013a) define adesivo ou resina como qualquer substância, orgânica ou inorgânica, empregada para unir partículas de madeira em um painel. De forma mais ampla, ligantes são sistemas adesivos que conectam partículas de diversos materiais. A função principal desses adesivos é promover a união entre os substratos e preencher os espaços vazios existentes entre eles (SANTOS, 2016; VILAR, 2004).

Na produção de painéis aglomerados, são comumente utilizadas resinas sintéticas aquosas obtidas por processos de condensação. Entre as mais empregadas estão as resinas uréicas (ureia-formaldeído), melamínicas (melamina-formaldeído) e fenólicas (fenol-formaldeído), além dos ligantes à base de isocianatos (SUGAHARA, 2018).

Dentre estas, a resina ureia-formol (R-UF) é atualmente a mais empregada na indústria de painéis de madeira reconstituída. Sua popularidade se deve a diversas vantagens, incluindo baixo custo, cura rápida, mínima influência na coloração do

produto final, alto teor de sólidos e um tempo de gel favorável para o processo industrial (RIBEIRO, 2008; ZHANG et al., 2023).

Dias (2005) descreve que, no processo de cura das resinas, a linha de cola que efetivamente adere os substratos é formada pela polimerização dos componentes sólidos. Os componentes líquidos, por sua vez, são eliminados por evaporação durante a etapa de prensagem (SUGAHARA, 2018).

A adesão em nível molecular ocorre por meio de ligações primárias (como as iônicas, covalentes, coordenadas e metálicas) ou por interações secundárias intermoleculares (que incluem as forças de Keesom, Debye e London). Atualmente, a visão predominante é que a adesão na interface, do ponto de vista molecular, resulta principalmente da ação das interações secundárias, exceto em situações muito específicas. A adesão mediada por essas forças secundárias é também conhecida como "Adesão Específica" (CAMPOS; LAHR, 2004).

Ribeiro (2008) apontou que, embora diversos adesivos possam ser empregados na colagem de componentes de madeira, o desempenho satisfatório de um adesivo depende de múltiplos fatores. Estes incluem a compatibilidade física e química entre o substrato e o adesivo, os requisitos do processo de aplicação, as propriedades mecânicas e a durabilidade da união, bem como a facilidade de uso e o custo do material.

A escolha do adesivo ideal é um processo que exige a consideração de múltiplos fatores, conforme destacado por Ribeiro (2008):

- Características físicas do adesivo: É fundamental que o adesivo possua um umedecimento adequado, um processo de solidificação eficiente e a capacidade de modificar sua forma para otimizar a adesão (RIBEIRO, 2008).
- Características físicas do adesivo durante a colagem: Durante o processo, a fluidez do adesivo é crucial, assim como sua facilidade de transferência e penetração na estrutura capilar do substrato. As características de solidificação também são importantes, especialmente em relação aos movimentos moleculares que ocorrem na transição do estado líquido para o sólido, incluindo a migração/evaporação do solvente, a polimerização e a orientação molecular (RIBEIRO, 2008).

- Características e propriedades da madeira: A madeira, como substrato, influencia diretamente o desempenho do adesivo. Fatores como densidade, porosidade, permeabilidade, umidade, pH e capacidade tamponante devem ser cuidadosamente avaliados para garantir uma colagem eficaz (RIBEIRO, 2008).

Neste contexto, os painéis compensados são fabricados com uma notável diversidade de tipos e qualidades. Essa variação depende principalmente da espécie de madeira utilizada e do tipo de resina empregada no processo produtivo. Devido a essa flexibilidade, os compensados encontram aplicação em uma vasta gama de setores (FERREIRA et al., 2009).

Conforme destacado por Ferreira et al. (2009), esses painéis são amplamente utilizados na indústria da construção civil, na fabricação de móveis, na construção naval, em estruturas para a agricultura, em construções industriais e também na produção de embalagens. Sua adaptabilidade os torna um material de grande importância em diversos segmentos do mercado.

2.6 RESINA UREIA-FORMALDEÍDO

A fabricação da resina ureia-formaldeído, remonta ao século XIX, tecendo uma história de descobertas e desenvolvimentos comerciais (COSTA, 2015; KATSUKAKE, 2009).

Inicialmente a síntese das matérias-primas essenciais que englobam a ureia foi feita por Wöhler em 1824, e o formol, foi realizada por Butlerov em 1859. Apenas em 1880, Tollens avançou nos estudos de condensação entre estas duas substâncias, pavimentando o caminho para o interesse comercial que culminou na primeira patente da resina UF por Goldschmidt em 1887, inicialmente voltada para moldagem (COSTA, 2015; KATSUKAKE, 2009; LESSMANN, 2008).

Um marco importante foi a escassez de madeira na Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), que impulsionou o surgimento dos primeiros painéis aglomerados de madeira. A comercialização da resina UF teve início na década de 1920, com Áustria, Alemanha e Estados Unidos liderando a produção e a tecnologia (COSTA, 2015; LESSMANN, 2008).

Entre 1930 e 1970, o setor viveu um período de consolidação, sem grandes alterações. Contudo, a partir dos anos 1970 até os dias atuais, a crescente preocupação ambiental e as demandas dos consumidores por painéis com menores emissões de formaldeído reacqueram o interesse pela química das resinas UF, fomentando o desenvolvimento de novas técnicas analíticas para uma compreensão mais profunda de sua estrutura (COSTA, 2015; LESSMANN, 2008).

A resina ureia-formaldeído (UF) continua sendo amplamente utilizada pelas indústrias fabricantes de painéis de madeira aglomerada e de MDF, dada sua eficácia como adesivo nesses processos (MELO, 2021; ZHANG et al., 2023).

Esta resina, embora amplamente conhecida por seu papel na fabricação de painéis de madeira, possui uma gama de aplicações muito mais vasta, sendo empregada, também, no tratamento de fibras têxteis para conferir melhor resistência a rugas e encolhimento e é frequentemente misturada a tintas alquídicas para aprimorar a dureza da superfície do revestimento, conferindo maior durabilidade (MELO, 2021).

Em sua forma pura, esta resina, geralmente, requer reforço com celulose e a adição de pigmentos diversos para a criação de uma variedade de produtos domésticos. Sua notável resistência a muitas substâncias químicas confere-lhe grande versatilidade em diversos ambientes. Adicionalmente, sua excelente resistência elétrica a torna um material desejável para a fabricação de componentes elétricos, como tomadas de parede e placas de interruptor (TIAN et al., 2023).

Suas vantagens são inúmeras, que tornam, este, um material altamente valorizado na indústria madeireira. Dentre estas características, podem ser destacadas o seu baixo custo, a facilidade de manuseio, uma baixa temperatura de cura, a solubilidade em água, o que simplifica sua aplicação e limpeza, a resistência a micro-organismos, o aumento da dureza ao material colado e excelentes propriedades térmicas (ELLIS; ROWELL, 2022).

Outro benefício significativo é o aumento da estabilidade dimensional em chapas de madeira fabricadas com essa resina. Essa estabilidade é atribuída às ligações cruzadas que se formam a partir da interação entre a madeira e o formaldeído, em decorrência da formação de pontes de metileno entre grupos de

hidroxila adjacentes, contribuindo para a rigidez e a durabilidade do produto final (DESH e DINWOODIE, 1996; ELLIS; ROWELL, 2022).

No entanto, a UF apresenta algumas desvantagens, como a emissão de formaldeído e a baixa resistência à água. Apesar dessas limitações, o mercado as aceita amplamente hoje. Para mitigar essas desvantagens e aprimorar certas características, a indústria frequentemente incorpora aditivos, resultando em formulações como a resina melamina-ureia-formol (RIBEIRO, 2008; ZHANG et al., 2023).

A exposição prolongada à umidade pode comprometer significativamente a integridade de compósitos de madeira fabricados com resina ureia-formol. Essa condição é um fator crítico que leva a diversas formas de degradação (GRIGSBY; CARPENTER; SARGENT, 2015; LUBIS; HONG; PARK, 2018):

- Perda de Resistência Mecânica: A principal consequência da absorção de umidade é a diminuição da capacidade do material de suportar cargas e forças (GRIGSBY; CARPENTER; SARGENT, 2015; LUBIS; HONG; PARK, 2018).
- Problemas Estruturais: Em painéis compensados, a umidade excessiva pode causar a formação de bolhas e delaminação, onde as camadas de madeira se separam. Para MDF e aglomerados, os efeitos incluem inchamento e deformação da chapa (GRIGSBY; CARPENTER; SARGENT, 2015; LUBIS; HONG; PARK, 2018).
- Desagregação do Material: Os aglomerados que absorvem umidade acima de 26% em massa e permanecem nessas condições por longos períodos podem sofrer desagregação completa da chapa, perdendo sua estrutura e funcionalidade (GRIGSBY; CARPENTER; SARGENT, 2015; LUBIS; HONG; PARK, 2018).

O polímero ureia-formaldeído é classificado como um polímero de condensação e possui uma estrutura tridimensional, sendo obtido a partir da reação entre a ureia e o formaldeído (Figura 3). Em seu estado puro, esse polímero é transparente, o que o levou a ser empregado inicialmente como um dos primeiros tipos de vidro plástico (COSTA, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para elaborar o compósito foram utilizadas biomassa da casca da mandioca seca e triturada obtida nos mercados de Volta Redonda – RJ e resina à base de Uréia-Formol e aditivos para base, uso comercial da marca Redemite fabricada por Redelease produto para industria LTDA – Químico Resp. Rubens Crus. IV região nº 04321806.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Obtenção da biomassa da casca da mandioca

As cascas da mandioca coletadas no mercado local de Volta Redonda – RJ (Figura 4) foram secas em estufa-incubadora, modelo BOD 411D da Nova Ética Ltda a temperatura de 60°C por 72 horas. Esta estufa está instalada nas dependências do UniFOA - CIT (Centro Integrado de Tecnologia) - laboratório 04.

Figura 4- Casca de mandioca in natura



Fonte: AUTOR, 2025.

Posteriormente, as cascas secas foram moídas em um liquidificador industrial da marca Colombo, modelo *premium* de aço inox, com de baixa rotação e capacidade de 6 L, até a obtenção de um pó fino (Figura 5).

Figura 5- Moagem das cascas de mandioca seca



Fonte: AUTOR, 2025.

3.2.2 Granulometria da biomassa da casca da mandioca

A avaliação granulométrica da amostra, foi realizada no laboratório 9 do UniFoa.

As amostras, após secagem para eliminação de umidade e resfriamento em dessecador por 24 h, foram pesadas (aproximadamente 42 g) e colocadas em peneiras ordenadas de 10, 20, 30, 40, 50, 100 meshes e fundo.

O conjunto foi inserido em um agitador de peneira SOLOTEST que utilizada frequência de agitação de 15Hz, por um período de 10 minutos. Após, foi medido a

massa de cada peneira em uma balança analítica com precisão do centésimo de miligramma (Figura 6).

Figura 6- Equipamento de agitação de peneiras da marca SOLOTESTE



Fonte: AUTOR, 2025.

3.2.3 Obtenção da biomassa da casca da mandioca tratada - Tratamento hidrotérmico

A biomassa moída (retida em 100 meshes + fundo) foi submetida a um tratamento hidrotérmico a uma temperatura de 121°C, por 45 minutos. As amostras, na proporção de 1:10 (biomass/água) (m/m) foram pesadas e colocadas em *Erlenmeyers* (500 mL) e autoclavadas (Marca Phoenix - modelo AV - capacidade de pressão máxima: 0 a 3,0 Kgf/cm², temperatura: 100 a 143°C).

O processo utilizado se baseou nas dissertações de Costa (2018) e Carvalho (2019) e foi realizado no UniFoa (laboratório de Biotecnologia).

Após este processo, a biomassa tratada foi filtrada, seca em estufa-incubadora (BOD 411D da Nova Ética Ltda) a 100 °C por 72 horas, novamente pesada e utilizada para fabricação dos compósitos.

Este processo visou a remoção de compostos com baixa massa molar, especialmente lignina, hemiceluloses e extrativos e colapsar a lignina para melhor impregnação da resina na biomassa e com isso proporcionar melhor aderência.

3.2.4 Obtenção da resina base do processo (uréia-formaldeído)

A tabela 1 apresenta as quantidades para o preparo de resina ureia-formaldeído, de acordo com a recomendação do fabricante, utilizando como base a resina comercial da Redelease e aditivos. Essa formulação visa à obtenção de um material, para aplicações como aglomerante.

Tabela 1- Quantidades necessárias para o preparo usando 100 g da resina uréia-formaldeído

Material	Quantidade (g)
Base para resina ureia-formaldeído	100
Ref.: (fabricante redelease)	
Trigo peneirado	20
Água filtrada	20
Endurecedor granulado de sulfato de amônia	3

Fonte: AUTOR, 2025.

Vale, ainda, ressaltar que essa formulação básica serviu como ponto de partida para a manufatura dos compósitos, sendo assim, outras considerações adicionais devem ser feitas neste caso.

Entre elas está o processo de mistura, uma vez que a ordem e o método de adição dos componentes são importantes para garantir uma mistura homogênea e evitar a formação de grumos, especialmente com o trigo, a temperatura e umidade que durante o preparo e a cura afetam significativamente o tempo de gel e as

propriedades finais da resina (utilizou-se temperatura de 25 °C e umidade de 50% neste trabalho), aplicação (camadas, pressão, tempo de prensagem, etc.) e cura (temperatura, tempo) são igualmente críticas para o desempenho final do material (MELLO, 2021).

3.2.5 Análise termogravimétrica (TGA)

Os ensaios de termogravimetria, visando determinar o comportamento térmico das amostras, foram feitas no equipamento TGA 7 (PerkinElmer Ltda) localizado na empresa i-TECH (SCS-SP).

Para realização dos ensaios, utilizou-se a seguinte metodologia:

- Quantidade de amostra: 6 mg,
- Recipiente = platina,
- Atmosfera = nitrogênio,
- Fluxo gasoso = 20 mL.min⁻¹,
- Faixa de aquecimento = 30 °C à 750 °C,
- Taxa de aquecimento = 20 °C.min⁻¹.

3.2.6 Obtenção dos compósitos

A produção dos compósitos envolveu a preparação da resina UF (item 3.2.4) e a incorporação manual das fibras da casca da mandioca tratadas e não tratadas (moídas e peneiradas com granulometria passante em 50 meshs) nas proporções (Tabela 2) de 20 %, 40 % e 50 % (m/m) de reforço (Figura 7).

Tabela 2- Proporções usadas nas misturas do compósito de fibras *in natura* ou tratadas

Resina % em massa	Fibra % em massa
50	50
60	40
80	20

Fonte: AUTOR, 2025.

Desta forma, os materiais resultantes foram utilizados para preparação dos corpos de prova.

Figura 7- Mistura manual dos materiais para obtenção dos compósitos



Fonte: AUTOR, 2025.

3.2.7 Preparação dos corpos de prova

Após a mistura da matriz com o reforço, os compósitos foram vertidos em moldes de metálicos que foram fechados (Figura 8), sendo, os conjuntos curados em temperatura ambiente (25 °C) por 1 dia antes de serem desenformados (Figura 9).

Figura 8- Preparação dos corpos de prova para formação de placas



A

B

Fonte: AUTOR, 2025.

Os tipos de moldes variaram de acordo com a função de aplicação e as tampas foram fechadas aplicando-se uma força média de 10 kN, com exceção dos corpos de prova de resina ureia-formaldeído puro que não foi prensado.

Figura 9- Processo de desenformar os corpos de prova para formação de placas



Fonte: AUTOR, 2025.

3.2.8 Teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade dos corpos de prova, utilizou-se 5 amostras para cada grupo analisado, tomando como base a NBR 14810-2 (ABNT, 2018) e a equação 1.

Esta norma estabelece os métodos de ensaio para chapas de partículas de madeira, fornecendo diretrizes para a preparação de amostras e cálculos que podem ser adaptados para compósitos com matriz polimérica e reforços celulósicos.

$$U = \frac{M_U - M_S}{M_S} \times 100 \quad (1)$$

Onde: U corresponde ao teor de umidade do corpo de prova (%), M_U é a massa úmida, em gramas, do corpo de prova e M_S é a massa do corpo de prova seco (g).

Sendo assim, os ensaios foram conduzidos utilizando-se corpos de prova com dimensões de 50 mm x 50 mm x 15 mm de forma a garantir uma representatividade

adequada da amostra e facilitar a manipulação durante o processo de secagem e pesagem realizada em uma balança analítica e secagem até peso constante em uma estufa SSA 40L – Solidsteel com capacidade para 40 L (Figura 10).

Com isso, foi possível determinar a variação da massa, tendo como resultado o teor de umidade.

Figura 10- Corpos de prova utilizados para determinação de umidade



Fonte: AUTOR, 2025.

3.2.9 Densidade média

Para determinar a densidade média, foram medidas (Figura 11) as dimensões dos cinco corpos de prova (50 mm x 50 mm x 10 mm) de cada família analisada, usando-se um paquímetro, e calculados, os valores, de acordo com a equação 2 e 3 (Figura 11).

$$V = l \times c \times e \quad (2)$$

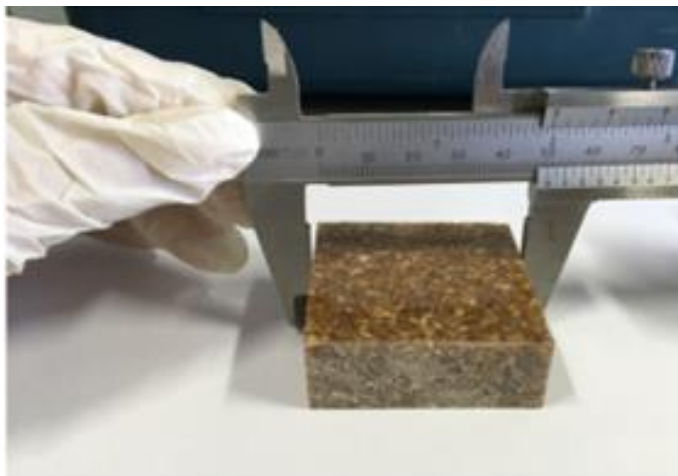
$$D = \frac{M}{V} \times 1000000 \quad (3)$$

Onde V é o volume do corpo de provas (mm^3) que é calculado pela multiplicação da largura (l) pelo comprimento (c) e a espessura (e) todos em milímetro, D é a densidade (kg.m^{-3}) e M é a massa do corpo (g).

Na sequência, foi utilizada a equação 4 de forma a se obter o cálculo da densidade média, mostrando a variação da densidade (%) de cada corpo de prova em relação a densidade média.

$$D\% = \frac{(D - D_{\text{média}})}{D_{\text{média}}} \times 100 \quad (4)$$

Figura 11- Corpos de prova utilizados para determinação de umidade



Fonte: SILVA; NASCIMENTO, 2019.

3.2.10 Inchamento por 24 h

O inchamento foi avaliado medindo-se a espessura dos corpos de prova antes e depois da imersão em água, sendo, portanto, um ensaio que avalia a expansão linear dos corpos de prova que medem $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ (Figura 12). Os cálculos deste ensaio foram obtidos com o auxílio da equação 5 que considera I como o inchamento em espessura do corpo de prova (%), E_0 a espessura inicial (mm) e E_1 a espessura do corpo de prova após imersão por 24 h (mm).

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (5)$$

Figura 12- Corpos de prova utilizados para determinação de umidade



Fonte: SILVA; NASCIMENTO, 2019.

3.2.11 Dureza Shore D

A medida de dureza Shore D dos corpos de prova, foram feita usando-se um durômetro Digimess TH210 localizado nos laboratórios do UniFOA.

Com o equipamento limpo e montado de acordo com as especificações do fabricante, o mesmo foi zerado e calibrado.

Em seguida, os corpos de prova, com espessura de 25 mm (estando, portanto de acordo com a norma ASTM D2240 (2021) que determina corpos de prova devem ter espessura mínima de 6 mm com superfície lisa e plana) foram avaliados levando-se em conta que os pontos medidos devem estar, a no mínimo, 12 mm das bordas e a 6 mm entre si. Foram feitas cinco medições, descartando-se as leituras anômalas.

Estes corpos de prova foram condicionados em ambiente controlado (ex: 23 ± 2 °C e $50 \pm 5\%$ de umidade por 24 horas).

3.2.12 Ensaio de resistência ao arrancamento do parafuso

Os ensaios de resistencia ao arrancamento parafuso foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do UniFOA, utilizando-se o equipamento da marca EMIC modelo DL10000, que apresenta capacidade máxima de 100kN, a uma velocidade de $2,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, com célula de carga de 5kN. Foi utilizada a norma NBR 14810/2013 como base para avaliar as propriedades mecânicas de resistência ao parafuso, tração e impacto (Figura 13).

Figura 13- Montagem do ensaio de resistência ao parafuso no equipamento de ensaio mecânico universal modelo EMIC- DL1000



Fonte: AUTOR, 2025.

Foram ensaiados 5 corpos de prova (50 mm x 50 mm x 25 mm) para avaliar o arrancamento do parafuso no topo e os outros 5 para o arrancamento na superfície.

Os parafusos utilizados são do tipo “cabeça de panela” medindo 3,5 mm de diâmetro por 35 mm de comprimento, com rosca tipo soberba, fixados de modo que tivessem 20 mm de profundidade fixado no corpo de prova e 15 mm para pega no suporte de tração (Figura 14).

Figura 14- Preparação dos corpos de prova para o ensaio de resistência ao arrancamento do parafuso



Fonte: AUTOR, 2025.

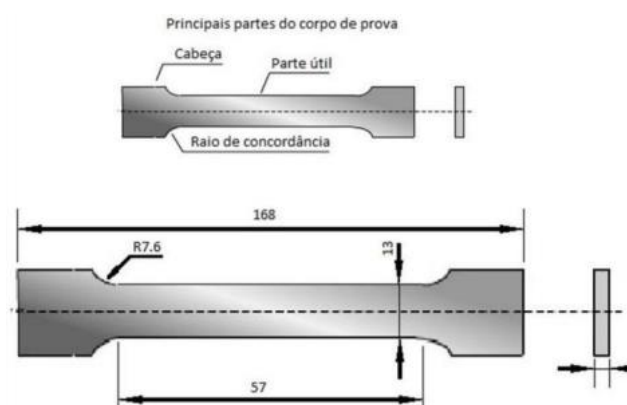
O furo inicial para fixação teve de ser feito com uma broca para madeira de 2 mm de diâmetro a uma profundidade de 20 mm.

3.2.13 Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados em um equipamento da marca EMIC DL 10000, com célula de carga de 5 kN, à velocidade de $2,0 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ localizado no UniFOA.

Foram analisados 5 corpos de prova de cada grupo, com dimensões previstas na norma ASTM D 638 – 22 para avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos e da resina pura (Figura 15 e 16).

Figura 15- Corpos de prova de tração de acordo com a norma ASTM D638 com dimensões em mm



Fonte: ROSA, 2019.

Figura 16- Equipamento de ensaio mecânico universal modelo EMIC- DL10000



Fonte: ROSA, 2019.

3.2.14 Ensaio de flexão

Os ensaios de flexão foram realizados no Laboratório de Ensaio Mecânicos do UniFOA, utilizando-se o equipamento da marca EMIC modelo DL1000 com capacidade máxima 100 kN (Figura 17) .

Nos ensaios foi utilizada a célula de carga de 5 kN, apropriada para os testes com polímeros e compósitos poliméricos, velocidade de ensaio de $2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ em corpos de prova medindo 13 mm largura x 130 mm comprimento x 6 mm de espessura, de acordo com a norma ASTM D 790-17.

Figura 17- Ensaio de flexão em três pontos - EMIC- DL10000



Fonte: AUTOR, 2025

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 OBTENÇÃO DA BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA

O tempo de secagem foi suficiente para se obter um material sem umidade.

Este material seco, após o processo de moagem, deu origem a um pó com granulometria variada de cor marrom claro (Figura 18).

Figura 18- Resultado da moagem das cascas



Fonte: AUTOR, 2025.

4.2 GRANULOMETRIA DAS FIBRAS IN NATURA

A análise granulométrica da fibra de mandioca revela uma distribuição heterogênea, com características distintas em diferentes faixas de tamanho (Tabela 3).

Este perfil complexo, indica que a maior fração da fibra foi retida na malha 20, o que sugere uma predominância de partículas maiores nessa amostra específica. Entretanto, há uma quantidade significativa de finos no fundo e uma variabilidade nas medições.

Entretanto, os valores estão consistentes, com desvio padrão (DP) inferior a 2% para todas as faixas avaliadas.

Tabela 3- Análise granulométrica da fibra de mandioca *in natura*

Amostras	Massa (%)	Massa (%)	Massa (%)	Massa (%)	Massa (%)	Média e DP (%)
10 #	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20 #	23,91	27,25	22,23	25,39	25,22	24,80 ± 1,87
30 #	14,22	13,34	16,68	12,33	15,33	14,38 ± 1,70
40 #	17,95	16,38	14,64	18,00	13,86	16,17 ± 1,89
50 #	10,27	15,24	12,90	12,84	13,18	12,89 ± 1,76
100 #	11,10	9,11	11,27	10,29	10,37	10,43 ± 0,85
Fundo	22,54	18,68	22,28	21,14	22,02	21,33 ± 1,58
Total	99,99	100,00	100,00	99,99	99,98	100,00

Fonte: AUTOR, 2025.

A predominância de partículas maiores pode influenciar diretamente suas propriedades e aplicações, como na absorção de umidade ou na capacidade de reforço em materiais compósitos. Já a presença de finos pode impactar na dispersão em certas matrizes (TAVARES, 2024).

Sendo assim, para maior homogeneidade do compósito, optou-se pelo uso das partículas com 100 meshes e fundo nas proporções, aproximadas, encontradas na mistura, ou seja 10,4 % e 21,33 %. A esta porção foi dado a denominação de biomassa *in natura* (Figura 19).

Figura 19- Porção contendo o material retido em 100 meshes e fundo



Fonte: AUTOR, 2025.

4.3 OBTENÇÃO DA BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA TRATADA - TRATAMENTO HIDROTÉRMICO

A biomassa moída (retida em 100 meshes + fundo) foi submetida a um tratamento hidrotérmico (Figura 20) para obtenção de um material com menor teor de material lignocelulósico que permita melhor ancoragem da matriz (SILVA, 2024).

Figura 20- Tratamento hidrotérmico da biomassa de mandioca



Fonte: AUTOR, 2025.

Como resultado, obteve-se um pó marrom escuro (Figura 21). Além disso, houve uma perda de massa do material de, aproximadamente, $8,20 \pm 1,26\%$ (Tabela 4) decorrente da extração de material lignocelulósico, especialmente, hemicelulose e lignina (LANDIM, 2024). Este valor está dentro do esperado na literatura encontrada e comprova que o tratamento hidrotérmico foi efetivo (CABRAL et al., 2015).

Figura 21- Biomassa obtida após o tratamento hidrotérmico

Fonte: AUTOR, 2025.

Tabela 4 - Variação de massa das amostras após tratamento hidrotérmico

Amostras	Variação de massa (%)
1	6,45
2	8,62
3	9,01
4	9,55
5	7,38
Média	8,20
DP (%)	1,26%

Fonte: AUTOR, 2025

4.4 OBTENÇÃO DA RESINA BASE DO PROCESSO (URÉIA-FORMALDEÍDO)

Obteve-se, com a mistura dos componentes (Figura 22), de acordo com a tabela 1, uma solução viscosa de coloração branca que foi utilizada para manufatura dos corpos de prova do material puro (referência) e serviu como matriz dos compósitos.

As proporções indicam que para cada 100g da base de resina, são adicionados 20g de trigo, 20g de água e 3g de endurecedor. Isso representa uma adição de 43% em massa de outros componentes em relação à base da resina.

A base para resina Ureia-Formaldeído (Ref.: fabricante Redelease) de 100g, que é o principal componente e o ponto de partida para a reação, e já se contém os polímeros de ureia e formaldeído, que são quimicamente modificados para sua aplicação específica, sendo referência para as proporções dos demais ingredientes. É importante notar que a qualidade e as características dessa base influenciarão diretamente as propriedades finais da resina (LESSMANN, 2008; MELLO, 2021).

Figura 22- Mistura dos componentes para obtenção da resina ureia-formaldeído



Fonte: AUTOR, 2025.

O trigo, quando peneirado, atua como uma carga inerte ou carga extensor. Ele é adicionado visando reduzir custos, melhorar as propriedades mecânicas visto que em certas aplicações, a adição de cargas pode aumentar a resistência à compressão, a dureza e a estabilidade dimensional da resina curada, controlar a viscosidade pois ajuda a espessar a mistura, facilitando a aplicação em algumas situações e diminuir a retração pois pode reduzir a contração volumétrica durante a cura, minimizando rachaduras e deformações (MELLO, 2021).

É fundamental que o trigo seja peneirado para garantir uma granulometria uniforme, o que evita a formação de grumos e assegura uma distribuição homogênea na mistura (MELLO, 2021).

Além disso, a proporção de trigo (20% da resina base) é relativamente alta, o que sugere um foco na redução de custos ou na obtenção de propriedades específicas de preenchimento (MELLO, 2021).

A água que deve ser filtrada, para evitar a introdução de impurezas que possam interferir na reação ou na qualidade do produto final, desempenha um papel crucial na diluição e no controle da viscosidade da resina, tornando-a mais fácil de manusear e aplicar, participando no processo de cura. Embora a resina UF apresente uma polimerização por condensação, a água presente pode influenciar a velocidade de reação e a cura do processo (KATSUKAKE, 2009; LESSMANN, 2008).

A adição de água (20% da resina base) indica que a resina base da Redelease é bastante viscosa. Esta quantidade pode variar se a aplicação desejada exige uma menor ou maior viscosidade (KATSUKAKE, 2009; LESSMANN, 2008).

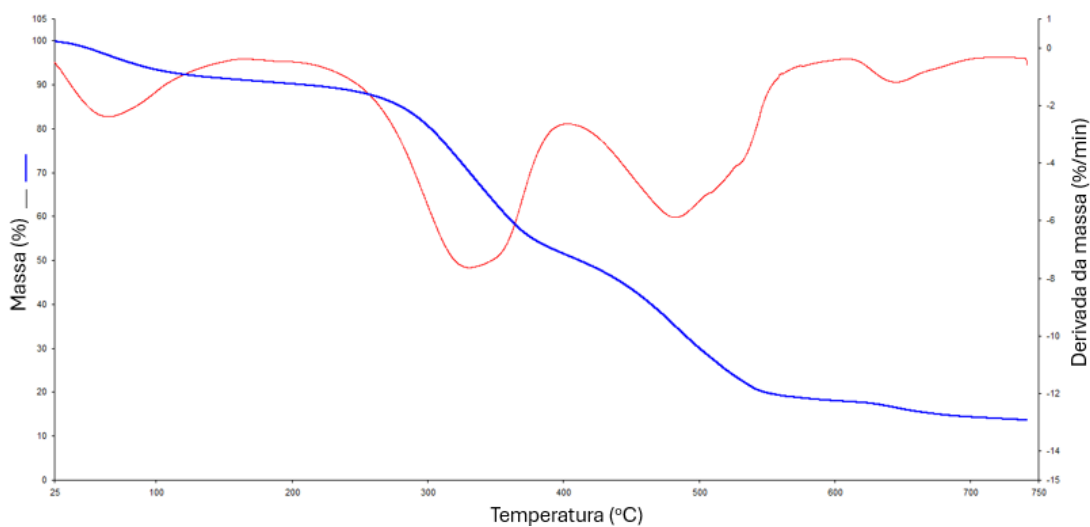
O endurecedor granulado, que facilita a dosagem e a incorporação na mistura, atua como catalisador responsável por iniciar e acelerar a reação de polimerização e cura da resina ureia-formaldeído, iniciando a reticulação (formação de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, transformando a resina líquida em um sólido rígido), controlando o tempo de gel (tempo que a resina leva para começar a solidificar) e o tempo de cura total (KATSUKAKE, 2009; MELLO, 2021).

4.5 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

É possível observar, nas curvas de termogravimétricas das amostras *in natura* e tratada (Figuras 23 e 24), respectivamente, que há uma diminuição do teor de umidade de 8,45% para 6,15% que, de acordo com Silva (2024), ocorre pela perda de componentes higroscópicos tais como β -celulose e a hemicelulose, confirmando os dados da pesagem que mostram que o tratamento hidrotérmico foi efetivo.

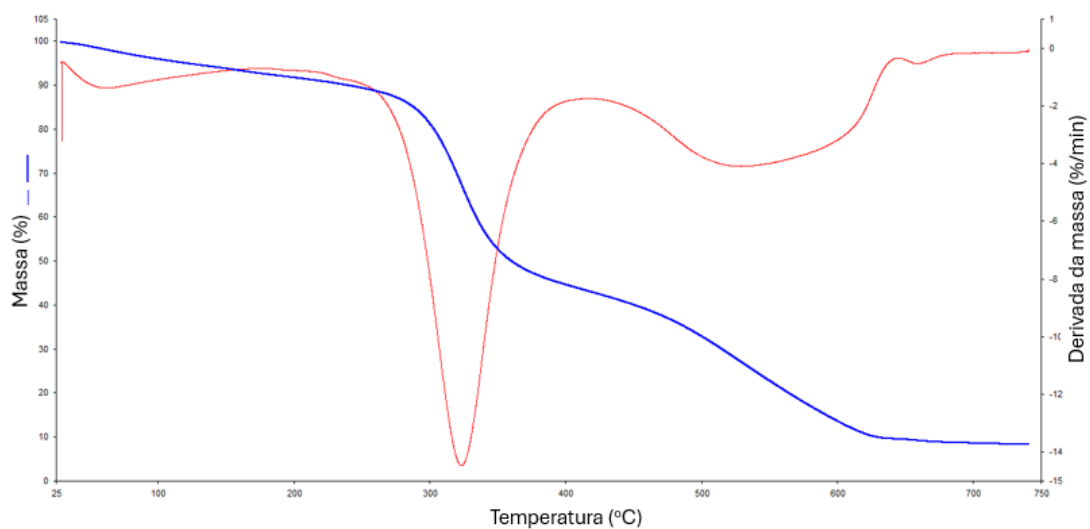
Além desse evento, as curvas apresentam mais três decaimentos que possivelmente são referentes a queima da β -celulose, hemicelulose, lignina e celulose (em aproximadamente 200 °C) (COSTA, 2018).

Figura 23- Curvas de TGA e DTG das biomassas da casca da mandioca *in natura*



Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 24- Curvas de TGA e DTG das biomassas da casca da mandioca tratada



Fonte: AUTOR, 2025.

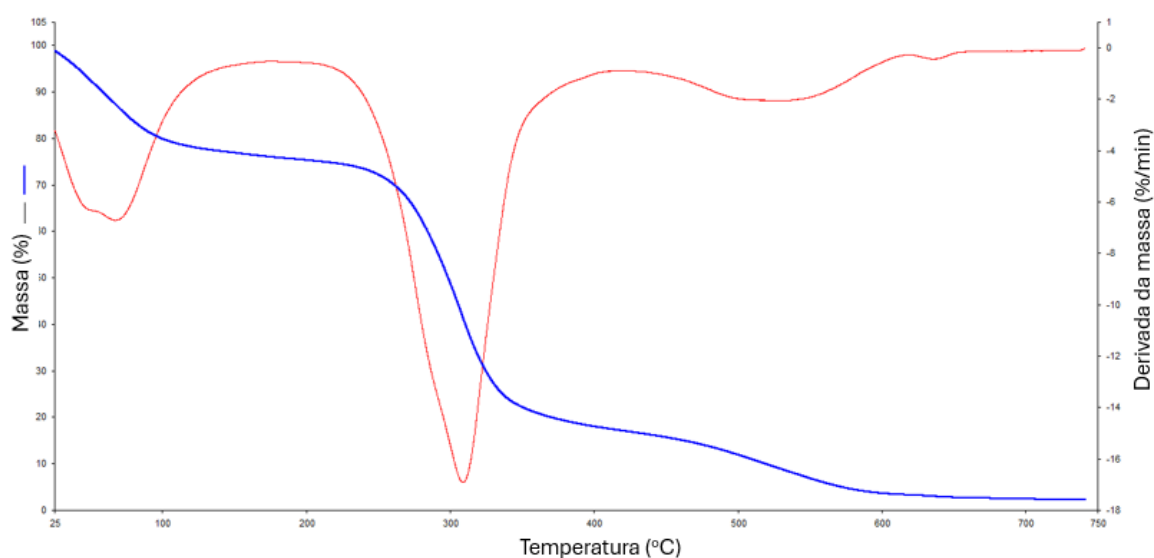
O pico que aparece em, aproximadamente, 400 °C, na derivada da curva, é resultante da queima da lignina e da celulose que vem ocorrendo concomitantemente (CÂMARA, 2022; CARVALHO, 2019).

O último pico (~600 °C), de acordo com algumas literaturas pode ser resultante da queima residual de lignina ou de outros materiais gerados durante a queima (CÂMARA, 2022; SILVA, 2024).

Outro ponto importante a ser notado é a temperatura de início de degradação (Ti) que se manteve constante em, aproximadamente, 203 °C para ambas as biomassas, o que indica que este material pode ser utilizado até esta temperatura para manufatura de compósitos.

Já a curva com a amostra da resina ureia-formaldeído (Figura 25) apresentou três decaimentos, sendo o primeiro de umidade, com um teor de 22,51%.

Figura 25- Curvas de TGA e DTG da resina ureia-formaldeído



Fonte: AUTOR, 2025.

Na sequência, há o início da degradação térmica que se apresentou com temperatura de 203 °C, estando muito próxima a das fibras, o que permite compatibilidade em termos de aplicação.

Esta Ti, marca, também o início do segundo patamar de perda, que, segundo a Costa et al. (2018) corresponde a degradação da resina ureia-formaldeído. Além disso, em torno de 425 °C pode ser resultante da queima dos demais materiais da mistura e/ou de subprodutos derivados da queima.

4.6 OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS

A mistura resultante obtida, tinha aparência homogênea e coloração, nos materiais *in natura* (Figura 26), um pouco mais escura que a dos materiais tratados (Figura 27).

Figura 26- Aspecto do compósito, após curado, obtido com a fibra *in natura*



Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 27- Aspecto do compósito, após curado, obtido com a fibra tratada



Fonte: AUTOR, 2025.

4.7 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova, com no mínimo 5 unidades para cada ensaio, foram desmoldados após 1 dia de secagem a 25 °C, entretanto, o processo de geleificação

se iniciou após 0,5 h e a cura estava completa após 3 h para ambas as famílias (*in natura* e tratados).

4.8 TEOR DE UMIDADE

Após o processo de secagem até peso constante, obteve-se teores de umidade (Tabela 5) abaixo do valor mínimo especificado pela NBR 14810-2 (ABNT, 2018) que determina que o teor de umidade deve variar entre 5 % e 13 %.

O valor máximo encontrado para o teor de umidade foi de 1,02 % na amostra que corresponde a das fibras tratadas com 20% de reforço e o mínimo foi na mesma amostra com fibra *in natura*. Estes resultados podem estar relacionados à influência da umidade do ambiente, uma vez que o teor de umidade da madeira, um componente fundamental nesses painéis, é diretamente impactado pela umidade relativa e pela temperatura do ar (SILVA; NASCIMENTO, 2019).

Tabela 5 - Teor de Umidade dos painéis compósitos

Teor de reforço (%)	Teor de umidade (%)	
	Fibra <i>in natura</i>	Fibra tratada
20	0,82 ±0,02	1,02 ±0,06
40	0,84 ±0,07	0,96 ±0,03
50	0,94 ±0,03	0,92 ±0,04

Fonte: AUTOR, 2025

No entanto, estes resultados, de acordo com Silva e Nascimento (2019) são satisfatórios, uma vez que não se apresentam como um problema relevante, visto que os compósitos foram desenvolvidos em ambientes cujo o clima é predominantemente tropical e, além disso, que quanto menor teor residual de umidade menor os custos de energia usados para secagem.

Entretanto, vale notar que o ensaio não pode ser realizado com as amostras sem reforço pois as mesmas se tornaram quebradiças, impossibilitando a pesagem.

4.9 DENSIDADE MÉDIA

Os materiais aglomerados, podem ser classificados como: painéis aglomerados de baixa densidade, quando sua densidade é inferior a $0,59 \text{ g.cm}^{-3}$; de média densidade quando sua densidade se encontra entre $0,59$ e $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$ e de alta densidade quando sua densidade é superior a $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$.

No caso dos ensaios realizados (Tabela 6), todos os materiais obtiveram densidade superior a $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$, sendo, portanto, classificados como de alta densidade e com pequenas variações entre si (baixo desvio padrão), mostrando que o processo foi repetitivo e homogêneo, permitindo aplicações onde sejam requeridos materiais de alto desempenho como em pisos laminados e escadas (IWAKIRI, 2002; SILVA; NASCIMENTO, 2019).

Tabela 6 - Valores médios das densidades aparentes dos compósitos

Teor de reforço (%)	Densidade (kg.cm^{-3})	Densidade (g.cm^{-3})
0 Resina pura	1105,43	$1,10 \pm 0,02$
20 Fibra <i>in natura</i>	1201,60	$1,20 \pm 0,01$
20 Fibra tratada	958,33	$0,96 \pm 0,01$
40 Fibra <i>in natura</i>	1107,85	$1,11 \pm 0,01$
40 Fibra tratada	1035,58	$1,04 \pm 0,02$
50 Fibra <i>in natura</i>	1100,90	$1,10 \pm 0,03$
50 Fibra tratada	863,38	$0,86 \pm 0,05$

Fonte: AUTOR, 2025

De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2018), este tipo de compósito ou painel não deve apresentar variação percentual da densidade de $\pm 7\%$, sendo assim os resultados estão dentro do especificado (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores máximos e mínimos das variações percentual da densidade

Teor de reforço (%)	Variações mínima da densidade (%)	Variações máxima da densidade (%)
0 Resina pura	-1,55	1,50
20 Fibra <i>in natura</i>	-1,26	1,59
20 Fibra tratada	-1,29	1,31
40 Fibra <i>in natura</i>	-1,42	1,42
40 Fibra tratada	-2,10	2,43
50 Fibra <i>in natura</i>	-4,58	3,60
50 Fibra tratada	-2,12	1,62

Fonte: AUTOR, 2025

4.10 INCHAMENTO POR 24 h

Os resultados de inchamento em 24 horas (Tabela 8) fornecem informações cruciais sobre a estabilidade dimensional dos compósitos de ureia-formaldeído reforçados com fibra de mandioca, tanto *in natura* quanto tratada.

A resina UF pura apresentou o menor percentual de inchamento ($1,42 \pm 0,47\%$), servindo como linha de base. A adição de qualquer tipo de fibra aumenta significativamente o inchamento dos compósitos em comparação com a resina pura, o que é esperado, dado o caráter hidrofílico das fibras naturais (IWAKIRI, 2005; SILVA; NASCIMENTO, 2019).

O tratamento das fibras de mandioca mostrou-se altamente eficaz na redução do inchamento em 20% e 40% de teor de reforço, melhorando significativamente a estabilidade dimensional dos compósitos UF.

No entanto, os resultados na proporção de 50% são complexos e merecem uma investigação mais aprofundada. A diminuição do inchamento para as fibras *in natura* a 50% e o aumento para as fibras tratadas na mesma proporção apontam para interações e limitações que podem surgir com altas cargas de fibra.

Tabela 8 - Valores médios do teste de inchamento após 24 horas de imersão em água deionizada

Teor de reforço (%)	Teor de inchamento (%)
0 Resina pura	1,42 ±0,47
20 Fibra <i>in natura</i>	6,28 ±0,46
20 Fibra tratada	3,98 ±1,42
40 Fibra <i>in natura</i>	6,81 ±0,67
40 Fibra tratada	4,00 ±1,40
50 Fibra <i>in natura</i>	4,58 ±1,41
50 Fibra tratada	5,67 ±0,60

Fonte: AUTOR, 2025

Mas de forma geral, os valores médios de inchamento estão dentro do valor especificado na NBR 14810 (2018) que é de 22% máximo, mostrando que este material pode ter aplicações onde a estabilidade dimensional, em presença de umidade, é crítica, como em móveis ou painéis para ambientes úmidos.

Sendo assim, a otimização do teor de reforço e a escolha entre fibra *in natura* e tratada são essenciais.

4.11 DUREZA SHORE D

Os ensaios de dureza Shore D (HD) fornecem dados importantes sobre a rigidez superficial dos compósitos de ureia-formaldeído com fibra de mandioca. Estas informações são cruciais para a resistência ao risco e ao desgaste do material.

De modo geral, a adição de fibras, especialmente as tratadas, tem um impacto significativo na dureza do compósito (MARINELLI et al., 2008).

Dentre as famílias avaliadas, a resina UF pura apresenta uma dureza Shore D de 63,44 ± 1,41 HD, servindo como ponto de referência para comparação com os demais materiais (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores médios de dureza Shore D

Teor de reforço (%)	Dureza Shore D (HD)
0 Resina pura	63,44 ±1,41
20 Fibra <i>in natura</i>	61,46 ±1,54
20 Fibra tratada	44,28 ±2,67
40 Fibra <i>in natura</i>	53,86 ±1,05
40 Fibra tratada	53,76 ±1,50
50 Fibra <i>in natura</i>	63,80 ±1,15
50 Fibra tratada	42,24 ±1,80

Fonte: AUTOR, 2025

Neste caso, os resultados de dureza Shore D revelaram um comportamento complexo para os compósitos de ureia-formaldeído com fibra de mandioca.

No caso da adição de fibra *in natura*, é esperado uma diminuição da dureza em baixas e médias concentrações (MARINELLI et al., 2008), mas surpreendentemente, houve um aumento da dureza em corpos de prova com 50% de teor de reforço, atingindo um valor superior ao da resina pura. Isso pode ser um ponto de otimização para a rigidez.

Mas, considerando-se que a dureza Shore D mede a resistência à indentação e pode ser influenciada pela rigidez da fibra, pela interface fibra-matriz e pela densidade de empacotamento, a anomalia de dureza reduzida com a fibra tratada, especialmente em 20% e 50%, sugere que o tratamento pode estar criando uma camada mais flexível ou fragilizando a interface de uma maneira que permite maior deformação sob a força de indentação.

Sendo assim, embora esse tratamento possa ser benéfico para outras propriedades (como absorção de água, ancoragem, etc.), não é favorável para a dureza superficial sob essas condições de teor de reforço.

Já com 40% de fibra tratada, a dureza se aproxima da *in natura*, sugerindo que a concentração de fibra também desempenha um papel crucial na eficácia do tratamento.

4.12 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO PARAFUSO

Para os ensaios de arrancamento no topo, a resina UF 100% novamente estabelece um padrão elevado de desempenho (Tabela 10 e 11).

Os compósitos de fibra natural (FN) + UF no topo apresentaram, de forma geral, valores de resistência e módulo de elasticidade inferiores aos da resina pura. O compósito com 50% de fibra + 50% UF teve um desempenho um pouco melhor em comparação com as outras proporções de FN, mas ainda aquém da resina pura. Isso indica que a resistência ao arrancamento no topo é mais desafiadora para compósitos com fibra natural, independentemente da proporção.

Tabela 10 - Resultados dos ensaio de arrancamento do parafuso da FN (fibra natural) + UF (resina ureia-formaldeído) lado topo

Material Fibra natural (TOPO)	Tensão Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade. (MPa)
Resina UF 100%	0,700 ± 0,038	0,710 ± 0,046	61,67 ± 7,566
CP-20% de fibra + 80% UF	0,522 ± 0,071	0,563 ± 0,083	49,794 ± 12,753
CP-40% de fibra + 60% UF	0,430 ± 0,092	0,440 ± 0,100	44,118 ± 10,067
CP-50% de fibra + 50% UF	0,598 ± 0,075	0,602 ± 0,073	45,564 ± 8,918

Fonte: AUTOR, 2025

Tabela 11 - Resultados dos ensaio de arrancamento do parafuso da FT (fibra tratada) + UF (resina ureia-formaldeído) lado topo

Material Fibra natural (TOPO)	Tensão Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade. (MPa)
Resina UF 100%	0,700 ± 0,038	0,710 ± 0,046	61,67 ± 7,566
CP-20% de fibra + 80% UF	0,477 ± 0,040	0,481 ± 0,039	32,293 ± 5,699
CP-40% de fibra + 60% UF	0,434 ± 0,051	0,435 ± 0,051	28,185 ± 5,406
CP-50% de fibra + 50% UF	0,553 ± 0,042	0,555 ± 0,044	37,049 ± 6,478

Fonte: AUTOR, 2025

Os compósitos de fibra natural (FN) + UF no topo apresentaram, de forma geral, valores de resistência e módulo de elasticidade inferiores aos da resina pura. O compósito com 50% de fibra + 50% UF teve um desempenho um pouco melhor em comparação com as outras proporções de FN, mas ainda aquém da resina pura. Isso indica que a resistência ao arrancamento no topo é mais desafiadora para compósitos com fibra natural, independentemente da proporção.

Surpreendentemente, os compósitos de fibra tratada hidrotermicamente (FT) + UF no topo não apresentaram a mesma melhoria de desempenho observada na face (Tabelas 12 e 13). Na verdade, as amostras de FT + UF no topo exibiram os menores valores de tensão de escoamento, tensão máxima e módulo de elasticidade entre todos os materiais testados, inclusive em comparação com os compósitos de FN + UF no topo. Isso sugere que, para o arrancamento de parafuso no topo, o tratamento hidrotérmico da fibra pode ter um efeito adverso, possivelmente alterando a estrutura da fibra de uma forma que prejudica sua ancoragem ou a integridade da interface compósito-parafuso quando a carga é aplicada perpendicularmente às fibras no topo.

Tabela 12 - Resultados dos ensaios de arrancamento do parafuso da FN (fibra natural) + UF (resina ureia-formaldeído) lado face

Material Fibra natural (FACE)	Tensão Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade. (MPa)
Resina UF 100%	0,8284 ± 0,025	0,869 ± 0,048	66,205 ± 11,274
CP-20% de fibra + 80% UF	0,573 ± 0,070	0,593 ± 0,081	52,369 ± 9,691
CP-40% de fibra + 60% UF	0,457 ± 0,037	0,472 ± 0,046	44,544 ± 5,584
CP-50% de fibra + 50% UF	0,4862 ± 0,181	0,582 ± 0,131	54,427 ± 12,008

Fonte: AUTOR, 2025

De forma geral, os resultados obtidos neste ensaio estão acima do estabelecido pela norma NBR 14810 (ABNT, 2018) que determina que para o topo o valor seja de, no mínimo, 800 N, enquanto que para a face ou superfície, os valores devem ultrapassar 1020 N.

Os valores elevados, podem ser decorrentes da densidade dos painéis ou do teor de resina (SILVA, NASCIMENTO, 2019).

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de arrancamento do parafuso da FT (fibra tratada hidrotermicamente) + UF (resina ureia-formaldeído) lado face

Material	Tensão Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade. (MPa)
Fibra natural (FACE)			
Resina UF 100%	0,8284 ± 0,025	0,869 ± 0,048	66,205 ± 11,274
CP-20% de fibra + 80% UF	0,827 ± 0,050	0,848 ± 0,051	65,493 ± 3,660
CP-40% de fibra + 60% UF	0,734 ± 0,118	0,754 ± 0,120	66,964 ± 9,55
CP-50% de fibra + 50% UF	0,692 ± 0,186	0,724 ± 0,186	75,111 ± 23,006

Fonte: AUTOR, 2025

4.13 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração dos compósitos de fibra natural (FN) e fibra tratada hidrotermicamente (FT) com resina ureia-formaldeído (UF), em comparação com a resina pura, demonstram claramente como a inclusão de fibras afeta as propriedades mecânicas do material.

A resina UF pura serve como nosso ponto de referência, exibindo uma tensão máxima de 4,659 MPa e um módulo de elasticidade de 147,608 MPa.

A adição de fibra natural à resina UF resultou em melhorias notáveis nas propriedades de tração. O ponto alto foi o compósito com 40% de fibra natural, que apresentou os maiores valores:

- Tensão de Escoamento: 12,794 MPa (quase o triplo da resina pura).
- Tensão Máxima: 13,679 MPa (também quase o triplo da resina pura).
- Módulo de Elasticidade: 325,201 MPa (mais que o dobro da resina pura).

Isso sugere que a proporção de 40% de fibra natural promoveu uma interação otimizada com a matriz de resina, gerando um compósito mais resistente e rígido. As formulações com 50% de fibra também superaram a resina pura (com 5,880 MPa de tensão máxima), mas não alcançaram o desempenho do compósito de 40%. Já a formulação com 20% de fibra natural mostrou valores de tensão de escoamento e máxima bem próximos aos da resina pura, mas com um módulo de elasticidade

significativamente maior (229,080 MPa), indicando maior rigidez sem um ganho expressivo em resistência.

Para os compósitos com fibra tratada hidrotermicamente, a adição das fibras também trouxe melhorias em comparação com a resina pura. O compósito com 40% de fibra tratada hidrotermicamente novamente se destacou entre as formulações de FT:

- Tensão de Escoamento: 6,730 MPa.
- Tensão Máxima: 7,338 MPa.
- Módulo de Elasticidade: 325,201 MPa.

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de tração da FN (fibra natural) / Resina UF (ureia-formaldeído)

Material	Tensão Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Mód. Elasticidade. (MPa)
Resina UF	4,366 ± 0,168	4,659 ± 0,131	147,608 ± 6,290
CP-20% de fibra	4,367 ± 0,649	4,842 ± 0,692	229,080 ± 32,579
CP-40% de fibra	12,794 ± 1,017	13,679 ± 1,057	325,201 ± 107,49
CP-50% de fibra	5,388 ± 0,579	5,880 ± 0,592	254,713 ± 24,405

Fonte: AUTOR, 2025

Tabela 15 – Resultados dos ensaios de tração da FT (fibra tratada hidrotermicamente) / Resina UF (ureia-formaldeído)

Material	Tensão Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Mód. Elasticidade. (MPa)
Resina UF	4,366 ± 0,168	4,659 ± 0,131	147,608 ± 6,290
CP-20% de fibra	4,517 ± 0,204	4,928 ± 0,219	257,851 ± 17,788
CP-40% de fibra	6,730 ± 0,447	7,338 ± 0,473	325,201 ± 37,893
CP-50% de fibra	6,902 ± 1,497	7,338 ± 1,606	232,730 ± 62,253

Fonte: AUTOR, 2025

É interessante notar que, embora o módulo de elasticidade da fibra tratada a 40% seja praticamente idêntico ao da fibra natural a 40%, as tensões de escoamento

e máxima foram significativamente menores para a fibra tratada (7,338 MPa) em comparação com a fibra natural não tratada (13,679 MPa) na mesma proporção.

Isso indica que, para a resistência à tração, o tratamento hidrotérmico pode ter um efeito adverso, possivelmente enfraquecendo a fibra ou comprometendo sua adesão à matriz de resina sob tensão, limitando sua capacidade de carga máxima. As proporções de 50% e 20% de fibra tratada também mostraram ganhos em relação à resina pura, mas seguiram a tendência de menor resistência em comparação com as suas contrapartes de fibra natural não tratada.

4.14 ENSAIO DE FLEXÃO

Os ensaios de flexão da resina UF 100% serve como ponto de partida, apresentando uma tensão de escoamento de 17,292 MPa, tensão máxima de 2,572 MPa e um módulo de elasticidade de 945,014 MPa. É importante notar a alta dispersão do módulo de elasticidade para a resina pura, indicada pelo desvio padrão elevado ($\pm 481,229$), sugerindo variabilidade em sua rigidez intrínseca.

De forma geral, a adição de fibras à resina ureia-formaldeído melhorou a resistência à flexão, tanto para fibras naturais quanto para as tratadas hidrotermicamente.

Para a fibra natural (Tabela 16), a proporção de 20% de fibra com 80% de resina parece ser a ideal para otimizar a resistência à flexão.

No caso da fibra tratada hidrotermicamente (Tabela 17), o compósito com 20% de fibra tratada e 80% de resina se destaca como o de melhor desempenho geral em flexão, superando até mesmo os melhores resultados da fibra natural em termos de rigidez e tensão de escoamento.

No entanto, o aumento da concentração de fibra tratada (para 50%) parece ser prejudicial, resultando em um material com propriedades de flexão piores do que a resina pura.

Esses resultados sublinham a importância de uma otimização cuidadosa da proporção fibra-resina e do tipo de tratamento da fibra para alcançar as propriedades mecânicas desejadas em compósitos. As diferenças observadas podem ser atribuídas

a variações na dispersão da fibra, na interface fibra-matriz e na própria integridade da fibra após o tratamento hidrotérmico em diferentes concentrações.

Tabela 16 – Resultados dos ensaios de flexão da FN (fibra natural) / Resina UF (ureia-formaldeído)

Material	Tensão Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade. (MPa)
Fibra natural			
Resina UF 100%	17,292 ± 5,350	2,572 ± 0,734	945,014 ± 481,229
CP-20% de fibra + 80% UF	42,590 ± 2,146	7,990 ± 0,942	869,298 ± 77,888
CP-40% de fibra + 60% UF	38,426 ± 3,205	5,916 ± 0,223	549,056 ± 89,642
CP-50% de fibra + 50% UF	32,684 ± 8,584	5,496 ± 1,534	696,964 ± 104,303

Fonte: AUTOR, 2025

Tabela 17 – Resultados dos ensaios de flexão da FT (fibra tratada hidrotérmicamente) / Resina UF (ureia-formaldeído)

Material	Tensão Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Fibra tratada			
Resina UF 100%	17,292 ± 5,350	2,572 ± 0,734	945,014 ± 481,229
CP-20% de fibra + 80% UF	53,156 ± 1,758	7,698 ± 0,554	1186,926 ± 130,190
CP-40% de fibra + 60% UF	25,580 ± 2,192	4,362 ± 0,758	776,904 ± 172,1062
CP-50% de fibra + 50% UF	8,968 ± 1,435	1,640 ± 0,352	355,228 ± 103,657

Fonte: AUTOR, 2025

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam a viabilidade técnica da utilização da biomassa da casca da mandioca como reforço lignocelulósico em compósitos poliméricos à base de resina ureia-formaldeído.

A metodologia empregada permitiu o reaproveitamento de um resíduo agrícola amplamente disponível, com significativa contribuição ambiental e econômica.

O tratamento hidrotérmico aplicado à fibra foi eficaz na remoção parcial de constituintes como lignina e hemicelulose, favorecendo a interação interfacial com a matriz e promovendo melhorias nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos.

Os corpos de prova apresentaram densidade superior a $0,80 \text{ g/cm}^3$, enquadrando-se como compósitos de alta densidade, conforme os critérios da NBR 14810-2.

Além disso, demonstraram comportamento satisfatório nos ensaios de resistência ao impacto, tração e arrancamento de parafuso, especialmente nas formulações com 40% e 50% de reforço tratado. Tais propriedades conferem ao material características adequadas para aplicação em pisos, painéis e móveis de uso geral.

A pesquisa reafirma o potencial de materiais alternativos de origem vegetal na substituição parcial de insumos convencionais, como madeiras e polímeros sintéticos, contribuindo para o avanço de tecnologias mais limpas. A adoção de resíduos agroindustriais como insumo para a engenharia de materiais reforça o compromisso com os princípios da sustentabilidade, economia circular e inovação tecnológica. Assim, os compósitos desenvolvidos configuram-se como alternativa viável e promissora para o setor de materiais sustentáveis.

6 TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se, para os trabalhos futuros:

- Fazer ensaios de teor de resina para determinar a composição dos materiais.
- Avaliar a viabilidade econômica dos compósitos com a reinserção dos resíduos no ciclo produtivo.
- Avaliar o teor de formaldeído liberado pela resina.
- Implementar melhorias no processo de fabricação e/ou na formulação para melhorar a performance mecânica ou térmica do compósito.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALBUQUERQUE, A. S. **Mandioca para farinha**: aspectos históricos, etimológicos e morfoanatômicos. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 29 p. (Documentos, 325). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/387992/1/OrientalDoc325.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE ENSAIOS E MATERIAIS (ASTM). ASTM D638-14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, PA, 2014. Disponível em: <https://store.astm.org/d0638-14.html>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE ENSAIOS E MATERIAIS (ASTM). ASTM D790-17: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: <https://store.astm.org/d0790-17.html>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-1: Chapas de madeira aglomerada - Parte 1: Terminologia. [S. l.], 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14810 – 2 – Painéis de partículas de média densidade – Parte 2 – Requisitos e Métodos de Ensaio. 2018.

ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE ENSAIOS E MATERIAIS (ASTM). ASTM D2240-15(2021)R21: Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness. West Conshohocken, PA, 2021. Disponível em: <https://store.astm.org/d2240-15r21.html>. Acesso em: 23 jun. 2025.

AZZINI, A.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A.; COSTA, A. A.; VALLE, T. L. Caracterização tecnológica de caules de quatro variedades de mandioca como fonte de fibras celulósicas para papel. *Tecnologia de Fibras e de Pós-colheita*. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, 1996. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/3vr5vHYz7Bdvq99GvYwsjzt/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 02 set. 2025.

AZZINI, A.; SALGADO, A. L. B.; BENATTI JÚNIOR, R.; COSTA, A. A. Caracterização tecnológica de espécies liberianas para o estabelecimento de métodos de análise quantitativa de fibras. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 1, p. 27-32, 1993. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/4KFVsMSKSsSp5v4BHxrMJ4h/>. Acesso em: 17 jun. 2025.

BANDEIRA, C. F. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina/fibra de carbono**. 2015. 201 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015

BENINI, K. C. C. C., **Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Lignocelulósicas: HPIS/Fibra da Casca do**

Coco Verde e Bagaço de Cana de Açúcar. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Nosso futuro comum**: comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991

CABRAL, A. S.; FERREIRA, J.; TRINCA, N. R. R.; GARCIA-CRUZ, C. H. Hidrólise da casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em diferentes tempos de tratamento e concentrações ácidas para a obtenção de açúcares fermentescíveis. In: 6º Fórum Científico da FUNEC: Educação, Ciência e Tecnologia: "Biodiversidade, Qualidade de Vida e Cidadania", **Anais...** Santa Fé do Sul, SP, v. 6, n. 6, 3 a 6 de novembro de 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/cirle/Downloads/administrador,+Gerente+da+revista,+HIDR%C3%93LISE+DA+CASCA+DE+MANDIOCA.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025

CÂMARA, P. F. **Obtenção e caracterização de biocompósitos formulados com fécula da casca e da entrecasca de mandioca (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) e galactomananas de alfarroba (CERATONIA SILIQUA L.) e reforçados com nanofibras de material lignocelulósico**. 2022. 204f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/48903/1/TESEFRONZABIONANOCOMP%C3%93SITOS.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2025

CAMPOS, I. C.; LAHR, F. A. R. Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído. **Revista Matéria**, v. 9, n. 1, pp. 29 – 40, 2004- Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/b17f4754-75bb-4977-9620-5a686efa4cf7/OK___466.pdf Acesso em: 16/03/2024

CARVALHO, J. A. L. **Compósitos de resina benzoxazina / biomassa extraída do resíduo da lavagem do açaí**: Obtenção e caracterização. 2019. 103f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2019

CEPEA. **Mandioca/Perspectiva Cepea**: Produção deve seguir crescente, mas esmagamento é incerto para 2025. [S. l.], 6 jan. 2025. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/br/diarias-de-mercado/perspec-2025-mandioca-cepea-producao-deve-seguir-crescente-mas-esmagamento-e-incerto-para-2025.aspx>. Acesso em: 18 jun. 2025.

CORRADINI, E.; AGNELLI, J. A. M.; MORAIS, L. C. de; MATTOSO, L. H. C. Estudo das propriedades de compósitos biodegradáveis de amido/glúten de milho/glicerol reforçados com fibras de sisal. **Polímeros**: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v. 18, n. 4, p. 353-358, 2008

COSTA, S. F.; ANDRADE, Â. G. L. L.; MEIER, M. M.; PEZZIN, S. H. Modificação do diâmetro de microcápsulas de poli(ureia-formaldeído) pelo uso de octanol. **Matéria** (Rio J.) v. 23, n. 4, 2018, <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180004.0585>.

Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rmat/a/VHYxRF5W3hmG3Hzz5Btyyxy/?lang=pt#>. Acesso em:
 21 jun. 2025.

COSTA, A. C. A. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia**. 2018. 81f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2018

COSTA, K. A. V.; **Emprego da resina ureia-formaldeído na produção de absorventes catiônicos para desmineralização d'água**, 2015. 123 f. Dissertação (mestrado em ciência e tecnologia dos materiais) – Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências, Bauru- SP. 2015

DEIM, H.; MATIAS, G.; WAGNER R. A. (2012). "**Aminoresinas**". Enciclopédia de Química Industrial de Ullmann . Weinheim: Wiley-VCH. doi : 10.1002/14356007.a02_115.pub2 . ISBN 978-3-527-30673-2.

DESCH, H. E.; DINWOODIE J. M. 1996. **Timber-Structure, Properties, Conversion and Use**. Seventh edition. McMillan, Basingstoke

DIAS, F. M., **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. 2005. 178 f. Tese (Doutor em ciência e Engenharia dos Materiais)- Universidade Estado de São Paulo- Instituto De Química de São Carlos- Instituto de Física de São Carlos- Escola de Engenharia de São Carlos- São Carlos – SP- 2005 Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001466754>
 Acesso em: 18/03/2024

ELLIS, T.; ROWELL, R. M. Wood modification with phenol urea formaldehyde (PUF) resin: the influence of wood species selection on the dimensional stability. **European Journal of Wood and Wood Products**, 2022. – Mostra como a modificação com resinas UF melhora a estabilidade dimensional por meio de reticulações na estrutura da madeira. Acesso em: 18 jun. 2025

FERREIRA, E. S.; BRITO, E.O.; IWAKIRI,S.; ROSSO, S.; BATISTA, D.C.- utilização da farinha de babaçu como extensor alternativo na produção de painéis compensados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 329-333, jul.-set., 2009- Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/534/53413082009.pdf> Acesso em: 09/11/2024

FILGUEIRAS, G. C.; HOMMA, A. K. O. Aspectos socioeconômicos da cultura da mandioca na região Norte. In: MODESTO JUNIOR, M. de S.; ALVES, R. N. B. (Ed.). **Cultura da mandioca**: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Cap. 1, p. 15-48. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1056645/1/LVMandiocacap1.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

FUKUDA, W. M. G.; FUKUDA, C.; DIAS, M. C.; XAVIER, J. J. B. N.; FIALHO, J. F. **Cultivares de mandioca recomendadas para o Brasil – 2002**. Brasília, DF:

Embrapa, 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121943/1/Cultivares-de-mandioca.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

GOMES, J. W.; GODOI, G. S.; SOUZA, L. G. M.; SOUZA, L. G. V. M. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. **Polímeros**, 27(número especial), 48-55, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/wZLKnR997KyVLxFTVBWRKw/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 12/06/2025

GRIGSBY, W. J.; CARPENTER, J. E. P.; SARGENT, R. Labile extractable urea-formaldehyde resin components from medium-density fiberboard. **Forest Products Journal**, v. 65, n. 1-2, p. 15–19, mar. 2015. – Corroborar que a resina UF apresenta alta extração por imersão em água, indicando suscetibilidade à hidrólise que pode levar à perda de componentes e enfraquecimento mecânico.

GUIMARÃES, B. M. G. **Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae**. 2014. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade Estadual de São Paulo (USP), São Paulo, 2014.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. 1ª edição. 2002.

IWAKIRI, S.; CAPRARA, A. C.; SAKS, D. C. O.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Revista Ciências Florestais**, Paraná, n.68, p.39-43, 2005

KARIUKI, S. W.; WACHIRA, J.; KAWIRA, M.; LEONARD, G. M. Characterization of Prototype Formulated Particleboards from Agroindustrial Lignocellulose Biomass Bonded with Chemically Modified Cassava Peel Starch. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2019, p. 1–15, 2019. DOI: 10.1155/2019/1615629.

KATSUKAKE, A. **Uma revisão sobre a resina uréia-formaldeído (R-UF) empregada na produção de painéis de madeira reconstituída**. 2009. 53f. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena em Química) – Faculdade de Ciência - UNESP, Bauru, 2009.

KOCHAK, A. A.; OLIVEIRA, L.; BASSO, O. M. K. Polímero Ureia-Formaldeído: Características e Aplicações. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Escola de Educação e Humanidades, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2018.

KOTIK, H. G. Fibras naturais e compósitos reforçados com fibras naturais: a motivação para sua pesquisa e desenvolvimento. **Revista Matéria**, ISSN 1517-7076 Editorial e-12477, v.24, n.3, 2009

LANDIM, J. C. Obtenção e caracterização de material compósito com base de poliacetal reforçado com biomassa de casca de castanha do pará (*Bertholletia*

excelsa). 2024. 69f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2024

LESSMANN, V. E. **Estudo da reação de cura de resinas uréia-formol por espectrometria de ressonância magnética nuclear**, Dissertação (Título de mestre em Química) - Universidade Federal Paraná, Curitiba PR- 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/74807637/Estudo_da_rea%C3%A7%C3%A3o_de_cura_de_resinas_ur%C3%A9ia_formol_por_espectrometria_de_Resson%C3%A2ncia_Magn%C3%A9tica_Nuclear Acesso em 18/08/2019

LUBIS, M. A. R.; HONG, M.-K.; PARK, B. D. Thermoplastic modification of urea–formaldehyde wood adhesives to improve moisture resistance. **Jurnal Sylva Lestari**, 2018. – Demonstra a remoção de resina UF por soluções aquosas, destacando a vulnerabilidade à hidrólise, especialmente em condições úmidas prolongadas.

MACHADO, A.; SILVA, W.; DAMASCENO FILHO, F.; SANTOS, É.; CABRAL, A. Painéis elaborados a partir da fibra do coco e resina de ureia-formaldeído como alternativa ao MDF utilizado na construção civil. In: XVIII Congresso Nacional de Tecnologia do Ambiente Construtivo, **Anais...** Porto Alegre, RS, 4 a 6 de novembro de 2020. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1005/632>. Acesso em: 17 jun. 2025

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. (2008) Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros**, 18, 92-99. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282008000200005>

MELLO, D. C. **Cinzas de caldeira como redutor da emissão de formaldeído em painéis de fibras de média densidade**. 2021. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2021. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/2845/D_bora_disserta__o_16650644937967_2845.pdf. Acesso em: 18 jun. 2025.

MIKI, A. A., **Verificação do efeito do aumento da temperatura na etapa de sulfonação da resina fenol – ureia – formol**. 2019. 33f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia do Lorena, Universidade Estadual Paulista, Lorena, 2019

MORDOR INTELLIGENCE. **Urea Formaldehyde Market: Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2024 - 2029)**. [S. l.]: Mordor Intelligence, [2024?]. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/urea-formaldehyde-market>. Acesso em: 18 jun. 2025.

NETO, L. S. G. Utilização de fibras naturais como reforço de materiais compósitos poliméricos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.9, n.12, p. 30815-30824, dec., 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n12-016

NUNES, José Luis da Silva. **Características da mandioca**. Agrolink, [s. l.], 19 ago. 2020. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/mandioca/informacoes-da-cultura/informacoes-gerais/caracteristicas-da-mandioca_438403.html. Acesso em: 18 jun. 2025.

PEREIRA, A. A., ALMEIRA, G. R., PAULA, K. S. **Análise da viabilidade da utilização da fibra de coco como biossorvente e biorremediador em acidentes com derivados de petróleo**. 57f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2021

OLIVEIRA, L. A.; SOUZA, J. M. L.; MATOS, M. F. R.; ÁLVARES, V de S. **Farinha de mandioca: alimento fonte de fibras e amido resistente**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2021. (Documentos, 245). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134961/1/Documento245-Luciana-AINFO-1.pdf>. Acesso em: 2 set. 2025.

ONODU, B. C.; CULAS, R. J.; NWOSE, E. U. Facts about dietary fibre in cassava: Implication for diabetes' medical nutrition therapy. **International Journal of Food and Nutritional Metabolism**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 1-6, 16 abr. 2018. Disponível em: <https://www.oatext.com/pdf/IFNM-5-216.pdf>. Acesso em: 2 set. 2025.

RAMESH, M.; PALANIKUMAR, K.; REDDY, K. H. Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 558-584, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.094

RIBEIRO, T. S. **Produção de painéis compensados de pinus taeda com resina uréia-formaldeído utilizando diferentes extensores**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). 2008. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. 2008. Disponível em: <https://rima.ufrjr.br/jspui/handle/1235813/2766>
Acesso em: 20/04/2020

RODRIGUES, A. C.; AMANO, E.; ALMEIDA, S. L. **Anatomia Vegetal**. Florianópolis: Biologia/EaD/UFSC, 2015. 152 p. Disponível em: <https://antigo.uab.ufsc.br/biologia/files/2020/08/Anatomia-Vegetal.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

RODRIGUES, J.; FUJIYAMA, R.; SOUZA, J. A. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, p. 946– 960, 2015

ROSA, R. C. Estudo do comportamento foto físico de preregs de fibra de vidro e resina fenólica. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2006.

SANTOS, L. C. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira**. Dissertação (Mestrado ou Trabalho de Conclusão de Curso) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, [2016]. Acesso em: 18 jun. 2025.

SEBRAE. **Potencial do mercado**. Aproveitamento residual da mandioca. 2024. Disponível em: <https://polosebraeagro.sebrae.com.br/wp-content/uploads/2024/07/aproveitamento-residual-da-mandioca-Polo-sebrae-agro.pdf>. Acesso em 16 jun 2025

SILVA, E. K. C.; NASCIMENTO, R. C. M. Reaproveitamento de resíduos de uma marcenaria de pequeno porte para a produção de novos painéis aglomerados. 2019. 117 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2019

SILVA, H. A.; MURRIETA, R. S. S. Mandioca, a rainha do Brasil? Ascensão e queda da *Manihot esculenta* no estado de São Paulo. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 9, n. 1, p. 37-60, jan./abr. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bgoeldi/a/fGSnCftpnbhggNTRmY3THPj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 jun. 2025.

SILVA, J. O. **Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com biomassa da casca da *Bertholletia excelsa***. 2024. 58 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materias) – Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2024

SUGAHARA, E. S. **Painéis aglomerados produzidos com partículas de eucalipto e bagaço de cana, com adesivos ureia-formaldeído e poliuretano à base de mamona**. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2018. Acesso em: 18 jun. 2025

TAVARES, C. **Influência da Presença de Carga em Polímeros**. 2024. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/influencia-da-presenca-de-carga-empolimeros/#:~:text=Diferentes%20pol%C3%ADmeros%20t%C3%AAm%20comportamentos%20distintos,presen%C3%A7a%20de%20carga%20em%20pol%C3%ADmeros.&text=Sigla%2Dnos%20no%20Instagram:%20@,instagram.com/afinkolab>. Acesso em: 20 jun. 2025.

TIAN, W.; WANG, X.; YE, Y.; WU, W.; WANG, Y.; JIANG, S.; WANG, J.; HAN, X. Recent progress of biomass in conventional wood adhesives: a review. **Green Chemistry**, v. 25, n. 24, p. 10304–10337, 2 nov. 2023. DOI: 10.1039/D3GC03441K. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D3GC03441K>. Acesso em: 18 jun. 2025.

VEIGA, J. P. S. **Caracterização de resíduos de colheita da mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ) e avaliação do potencial de co-geração de energia no processo de produção do etanol**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235792515_Caracterizacao_de_residuos_d_e_colheita_da_mandioca_Manihot_esculenta_CRANTZ_e_avaliacao_do_potencial_de_co-geracao_de_energia_no_processo_de_producao_do_etanol#fullTextFileContent. Acesso em: 18 jun. 2025.

VILAR, W., **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. Vilar Consultoria, 3a Edição, Rio de Janeiro, 2004.

YOUNGQUIST, J. A. Wood-based composites and panel products. In: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 433-460

YOUNGQUIST, J. A. **Wood-based composites** – The panel and building components of the future. Proceedings. IUFRO, Canada, p.5-2, 1998

ZHANG, et al. Melamine–Urea–Formaldehyde Resin Adhesive Modified with Recycling Lignin: Preparation, Structures and Properties. **Forests**, v. 14, n. 8, p. 1625, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f14081625>. Acesso em: 18 jun. 2025. – Discute que a resina UF possui “simple synthesis technology, low production cost, fast curing and a light color after curing”

ANEXO 1- Carta de Parceria da iTech.

A
UNIFOA – Centro Universitário de Volta Redonda
Mestrado Profissional em Materiais – MEMAT
Campus Olézio Galotti – Avenida Dauro Peixoto Aragão, 1325
Três Poços, Volta Redonda – CEP 27240-560

Ref.:

PROJETO: FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO DE RESINA
UREIA-FORMALDEÍDO E BIOMASSA DA CASCA DA MANDIOCA

Prezados

Vimos através desta, formalizar a realização de uma parceria entre o UniFOA – Centro Universitário de Volta Redonda e a iTech Analytics para fomentar o desenvolvimento do projeto supracitado a ser apresentado como dissertação pelo aluno FÁBIO SILVA DE OLIVEIRA para obtenção do título de Mestre em Materiais.

A iTech Analytics, por meio da presente parceria firmada, autoriza a utilização de seus equipamentos e laboratórios para desenvolvimento de ensaios de caracterização da matéria-prima e compósito final.

Adicionalmente a iTech Analytics autoriza a utilização de seu nome e dados relacionados às suas atividades na dissertação e eventuais artigos científicos produzidos no presente projeto, cabendo uma avaliação preliminar do conteúdo do texto por parte da empresa.

Atenciosamente


iTech Analytics
Gerente Geral

