



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

IZABELA DA COSTA PAMPOLHA

**FIBRAS DA COROA DO ABACAXI EM COMPÓSITOS DE MATRIZ
ORTOFTÁLICA: CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS E MECÂNICAS**

Ananindeua, PA

2024

IZABELA DA COSTA PAMPOLHA

**FIBRAS DA COROA DO ABACAXI EM COMPÓSITOS DE MATRIZ
ORTOFTÁLICA: CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS E MECÂNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, Campus Universitário de Ananindeua, para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Deibson Silva da Costa.

Coorientador: Me. Eng. Luis Felipe Alencar Brandão.

Ananindeua, PA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P185f Pampolha, Izabela da Costa.
FIBRAS DA COROA DO ABACAXI EM COMPÓSITOS
DE MATRIZ ORTOFTÁLICA: CARACTERIZAÇÕES
FÍSICAS E MECÂNICAS / Izabela da Costa Pampolha. —
2024.
93 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Deibson Silva da Costa
Coorientador(a): Prof. Me. Luis Felipe Alencar Brandão
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de
Ananindeua, Curso de Engenharia de Materiais, Ananindeua,
2024.

1. Fibras da Coroa do Abacaxi. 2. Fibras Lignocelulósicas. 3.
Compósitos. I. Título.

CDD 620.11

IZABELA DA COSTA PAMPOLHA


**FIBRAS DA COROA DO ABACAXI EM COMPÓSITOS DE MATRIZ
ORTOFTÁLICA: CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS E MECÂNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, campus universitário de Ananindeua, para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará.


Data da aprovação: 05 / 04 / 2024.

Conceito: Excelente.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DEIBSON SILVA DA COSTA**
Data: 13/05/2024 10:46:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Deibson Silva da Costa
(FEMat/CAMPANIN/UFPA – Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **LUIS FELIPE ALENCAR BRANDAO**
Data: 13/05/2024 10:56:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Eng. Luis Felipe Alencar Brandão
(PPGEC/ITEC/UFPA – Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 **ALISSON CLAY RIOS DA SILVA**
Data: 13/05/2024 18:29:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Allison Clay Rios da Silva
(FEMat/CAMPANIN/UFPA – Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente
 **DILSON NAZARENO PEREIRA CARDOSO**
Data: 13/05/2024 15:19:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dilson Nazareno Pereira Cardoso
(FEQ/ITEC/UFPA – Examinador Externo)

Ananindeua, PA
2024

Dedico este TCC a Deus, pois ele me guiou com sua poderosa mão até a finalização dessa pesquisa, concedendo-me força e sabedoria. Aos meus pais, Venicius Pampolha (*in memoriam*) e Iza Pampolha, vocês são a minha força motriz que impulsiona o meu avanço.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me iluminar, me conceder saúde, determinação, por permitir que meus objetivos fossem alcançados e possibilitar que eu superasse todos os obstáculos ao decorrer da minha caminhada acadêmica.

Agradeço ao meu eterno herói, o meu pai querido, Venicius Pampolha (*in memoriam*). Sempre foi minha fonte de inspiração, meu guia inabalável, meu maior exemplo de generosidade e humildade. Embora não esteja fisicamente presente, seu legado continua a moldar cada passo da minha trajetória.

Agradeço à mulher mais forte e resiliente que conheço, a minha mãe, Iza Pampolha. Foi a minha “coach”, pois desde a minha infância instigou-me constantemente a alcançar o meu melhor resultado, sempre enfatizando que “9 não é 10”. Sozinha, conseguiu criar eu e as minhas irmãs, foi uma missão árdua, pois teve que obter sustento para três crianças órfãs vendendo comidas típicas em um modesto carrinho de lanches. Ela é o meu maior testemunho de amor, coragem e sacrifício.

Agradeço ao meu esposo, Arthur Fonseca Neto. Este TCC é uma celebração não apenas do meu esforço, mas também do compromisso e do resultado da parceria de 15 anos de relacionamento. Ao longo da nossa trajetória, unimos forças para edificar com sucesso nossa empresa próspera e a minha formação acadêmica. O Arthur foi essencial em minha jornada, pois ofereceu-me suporte emocional e financeiro, além de me ajudar a evoluir de uma simples vendedora de batata frita para uma engenheira realizada. Serei eternamente grata por ser o meu porto seguro nos momentos mais difíceis.

Agradeço à minha afilhada Manuela Silva. O sorriso dessa bebê ilumina meus dias e, mesmo sendo tão pequena, a sua presença trouxe luz e uma grande fonte motivação aos meus esforços. Nos momentos de cansaço, sua inocência e alegria foram o combustível que impulsionou meu coração a seguir em frente.

Agradeço às minhas tias Maria do Carmo (*in memoriam*), Maria Clara e Maria do Socorro, por todo o apoio em me ajudarem a pagar meu convênio durante um período de crise financeira pelo qual passei. Vocês são verdadeiros exemplos de força feminina e fonte de inspiração em minha vida. Um agradecimento especial à tia Maria Clara, que além de ser uma tia amorosa, também foi minha chefe no INSS, mostrando sempre incentivo e compreensão.

Agradeço a todo meu núcleo familiar: à minha Vó Matilde, à minha vó Irani (*in memoriam*), às minhas irmãs Ingrid Pampolha e Izadora Pampolha, à minha tia Iolanda Costa, ao meu tio Jefferson Costa e ao meu primo, que é como se fosse irmão, Rafael Costa. Agradeço também aos meus sogros, Arthur Fonseca e Hilda Célia, me acolheram na família como se eu fosse filha, sempre preocupados e cuidando com muito carinho de mim.

Agradeço ao Laboratório de Catálise e Biocatálise (LABCAT), ao Laboratório de Materiais Porosos e Sintetizados (LAMPS), ao Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM), ao Laboratório de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, por terem contribuído com as caracterizações desta pesquisa, disponibilizando espaço e equipamentos.

Agradeço ao meu orientador, Deibson Silva, pelos ensinamentos, apoio, orientação e por ter acreditado no meu potencial. Sua disponibilidade, experiência, paciência e dedicação foram de extrema importância para o desenvolvimento e êxito desse trabalho.

Agradeço ao meu coorientador, Felipe Brandão, pelo apoio contínuo, pela orientação, dedicação e pelas contribuições que enriqueceram a pesquisa. Sua habilidade em fornecer uma visão abrangente e sua disponibilidade para discutir ideias, contribuíram muito para a qualidade deste trabalho.

Expresso a minha gratidão à técnica de laboratório, Laura Brito, pela sua orientação durante o estágio. Agradeço pela generosidade ao compartilhar conhecimento, pela eficácia no ensino em curto prazo, assim como por suas conversas edificantes e sábios conselhos.

Agradeço à Universidade Federal do Pará e todo o corpo docente da FEMat por terem contribuído com a minha formação acadêmica.

Aos meus amigos(as) Ana Karolina Dal Magro, Déborah Júlia e Leonardo Biasi que ficaram ao meu lado compartilhando a mesma caminhada no curso, obrigada por se dedicarem nos trabalhos em grupo, por me motivarem, por compartilharem as melhores risadas. Vocês foram o suporte emocional que tornou essa jornada mais leve.

A todos, a minha eterna gratidão.

EPÍGRAFE

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.”

Provérbios 16:3

RESUMO

Os compósitos reforçados com fibras naturais referem-se a materiais que combinam fibras de fontes naturais com uma matriz polimérica. Esses materiais despertam interesse devido à sua natureza ecológica, leveza, desempenho, biodegradabilidade e custo reduzido. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi fabricar e caracterizar compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de coroa de abacaxi. A fabricação dos compósitos foi realizada manualmente, utilizando o método *hand lay-up* em moldes de silicone. Os comprimentos das fibras utilizadas foram de 15 mm e 30 mm, e as proporções em massa foram de 0%, 1%, 2% e 3%. A matriz polimérica utilizada foi resina poliéster insaturada ortoftálica cristal com adição de 1% em volume de iniciador e 1,5% em volume de acelerador. Realizou-se a análise morfológica das fibras foi conduzida por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A massa específica foi determinada utilizando o método do picnômetro. Após a fabricação dos compósitos, foram realizados ensaios físicos (ASTM D 570, ASTM D 2734, e ASTM D 792) e ensaios mecânicos de tração (ASTM D 638) e flexão (ASTM D 790). A análise morfológica das fibras revelou na superfície a presença de uma textura rugosa e irregular. As fibras da folha da coroa do abacaxi possuem a massa específica de 1,14 g/cm³. Observou-se que a inserção da fibra da coroa do abacaxi influenciou nas propriedades físicas dos compósitos produzidos, A composição FCA - 15 mm 1% apresentou menor massa específica aparente, com uma redução de 3,84% em comparação com a Matriz Polimérica (MP). Todos os compósitos contendo fibra da coroa do abacaxi demonstraram aumento da porosidade aparente e da absorção de água. A composição FCA - 30 mm 1% de fibra exibiu maior porosidade e absorção de água. Os ensaios de tração e flexão mostraram que as composições FCA - 15 mm 1% e FCA - 30 mm 3% obtiveram melhores resultados em relação às outras composições com a fibra. No entanto, esses resultados foram inferiores aos da matriz plena, sugerindo que as fibras atuaram como carga de enchimento. A falha do material foi atribuída principalmente à presença de porosidade e à dificuldade de adesão das fibras na matriz.

Palavras-chave: Fibras da Coroa do Abacaxi; Fibras Lignocelulósicas; Compósitos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Natural fiber-reinforced composites refer to materials that combine fibers from natural sources with a polymeric matrix. These materials are of interest due to their ecological nature, lightweight, performance, biodegradability, and reduced cost. In this context, the aim of this work was to manufacture and characterize polymer matrix composites reinforced with pineapple leaf fiber. The composites were manually fabricated using the hand lay-up method in silicone molds. Fiber lengths of 15 mm and 30 mm were used, with mass ratios of 0%, 1%, 2%, and 3%. The polymer matrix used was unsaturated orthophthalic crystal polyester resin with the addition of 1% by volume of initiator and 1.5% by volume of accelerator. Morphological analysis of the fibers was conducted using Scanning Electron Microscopy (SEM). Specific mass was determined using the picnometer method. After manufacturing the composites, physical tests (ASTM D 570, ASTM D 2734, and ASTM D 792) and mechanical tests for tension (ASTM D 638) and flexion (ASTM D 790) were performed. Morphological analysis of the fibers revealed a rough and irregular texture on the surface. The specific mass of pineapple crown leaf fibers was determined to be 1.14 g/cm³. It was observed that the inclusion of pineapple crown fiber influenced the physical properties of the produced composites. The composition FCA - 15 mm 1% exhibited lower apparent specific mass, with a reduction of 3.84% compared to the Polymer Matrix (PM). All composites containing pineapple crown fiber showed increased apparent porosity and water absorption. The FCA - 30 mm 1% composition displayed higher porosity and water absorption. Tensile and flexural tests showed that compositions FCA - 15 mm 1% and FCA - 30 mm 3% achieved better results compared to other compositions with pineapple crown fiber. However, these results were inferior to those of the full matrix.

Keywords: Composites; Pineapple Crown Fibers; Lignocellulosic fibers; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação dos materiais compósitos.....	24
Figura 2 - Reação de formação da resina poliéster.....	25
Figura 3 - Representação da configuração da resina poliéster ortoftálica.....	26
Figura 4 - Tipos de reforços em compósito com matriz polimérica.....	27
Figura 5 - Ilustração de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.....	28
Figura 6 - Estrutura da Fibra Lignocelulósica.....	30
Figura 7 - Plantação de abacaxi no município de Salvaterra – PA.....	33
Figura 8 - Coroas do abacaxi descartadas de forma irregular.....	34
Figura 9 - Processo de fabricação <i>hand lay-up</i>	35
Figura 10 - Fluxograma geral do processo de fabricação.....	36
Figura 11 - Abacaxi do tipo pérola antes da retirada da coroa.....	38
Figura 12 - Moldes de silicone (a), estufa (b) e balança analítica de precisão (c)....	38
Figura 13 - Folhas da coroa do abacaxi.....	39
Figura 14 - As folhas da coroa do abacaxi imersas na água (a), fibras úmidas extraídas antes de passar pelo processo de limpeza manual (b), fibras limpas e em processo de secagem (c), fibras limpas e secas (d).....	40
Figura 15 - Fibras da coroa do abacaxi antes do corte (a); após o corte de 15 mm (b) e 30 mm (c).....	40
Figura 16 - Picnômetros contendo água e fibra (m_3).....	41
Figura 17 - Fluxograma ilustrativo da fabricação dos corpos de prova.....	43
Figura 18 - Aparato utilizado para obter a medição da massa imersa dos corpos de prova.....	44
Figura 19 - Medidas em milímetros dos corpos de prova para o ensaio de tração.....	45
Figura 20 - Rompimento do corpo de prova no ensaio de tração.....	45
Figura 21 - Ilustração das medidas em milímetros dos corpos de prova para a realização do ensaio de flexão.....	46
Figura 22 - MEV das fibras da coroa do abacaxi: (a) 2.77 kx, (b) 1.38 kx.....	50
Figura 23 - Corpos de prova após o processo de cura. CP's para o ensaio de tração (a) e para o ensaio de flexão (b).....	51
Figura 24 - Gráfico das propriedades físicas dos compósitos produzidos.....	53

Figura 25 - Gráfico dos resultados de desempenho da resistência à tração dos corpos de prova.....	61
Figura 26 - Gráfico ilustrativo de Tensão x Deformação dos compósitos fabricados.	62
Figura 27 - Gráfico do limite de resistência à tração em relação com a porosidade aparente dos compósitos produzidos.....	63
Figura 28 - Gráfico dos resultados do desempenho da resistência à flexão dos corpos de prova.....	71
Figura 29 - Gráfico da relação entre o limite de resistência à flexão e a porosidade aparente.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades da Resina poliéster insaturada ortoftálica cristal Fortcom 6100.	37
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros ANOVA.....	47
Tabela 2 - Comparativo do resultado da Massa Específica.....	49
Tabela 3 - Dados resultantes dos ensaios físicos.....	52
Tabela 4 - Teste ANOVA dos resultados obtidos a partir dos dados da MEA dos compósitos.....	54
Tabela 5 - Resultado do teste Tukey dos dados obtidos da MEA dos compósitos.....	55
Tabela 6 - Resultado do teste ANOVA dos dados obtidos a partir dos dados da análise da PA dos compósitos poliméricos.....	56
Tabela 7 - Resultado do teste Tukey da análise de PA dos compósitos poliméricos.....	57
Tabela 8 - Resultado do teste ANOVA da análise da AA dos compósitos poliméricos.....	58
Tabela 9 - Resultado do teste Tukey da análise de AA dos compósitos poliméricos.....	59
Tabela 10 - Dados resultantes do ensaio de tração.....	60
Tabela 11 - Resultado do teste ANOVA da análise do ensaio de LRT dos compósitos poliméricos.....	64
Tabela 12 - Resultado do teste Tukey da análise do LRT dos compósitos confeccionados.....	65
Tabela 13 - Resultado do teste ANOVA da análise do módulo de elasticidade obtidos através do ensaio de tração dos compósitos poliméricos.....	66
Tabela 14 - Teste Tukey dos dados obtidos a partir do módulo de elasticidade no ensaio de tração.....	67
Tabela 15 - Comparativo do resultado do ensaio de tração da composição FCA - 30 mm 3% com outras pesquisas encontradas na literatura.....	68
Tabela 16 - Comparação do LRT da composição FCA - 30 mm 3% com materiais poliméricos aplicado na indústria.....	68
Tabela 17 - Dados resultantes do ensaio de flexão.....	69
Tabela 18 - Resultado do teste ANOVA da análise de LRF dos compósitos poliméricos.....	72
Tabela 19 - Resultado do teste Tukey dos resultados obtidos do ensaio de LRF.....	73

Tabela 20 - Análise de variância do módulo de elasticidade obtidos através do ensaio de flexão dos compósitos poliméricos.	74
Tabela 21 - Teste Tukey do módulo de elasticidade obtidos através do ensaio de flexão dos compósitos poliméricos.....	75
Tabela 22 - Comparativo do resultado do ensaio de LRF da composição FCA - 30 mm 3% com outras pesquisas encontradas na literatura.....	76
Tabela 23 - Comparação do LRF do compósito FCA - 30 mm 3% com materiais poliméricos aplicado na indústria.	77

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

1% de Fibra da Coroa do Abacaxi com corte de 15 Milímetros (FCA - 15 mm 1%)

1% de Fibra da Coroa do Abacaxi com corte de 30 Milímetros (FCA - 30 mm 1%)

2% de Fibra da Coroa do Abacaxi com corte de 15 Milímetros (FCA - 15 mm 2%)

2% de Fibra da Coroa do Abacaxi com corte de 30 Milímetros (FCA - 30 mm 2%)

3% de Fibra da Coroa do Abacaxi com corte de 15 Milímetros (FCA - 15 mm 3%)

3% de Fibra da Coroa do Abacaxi com corte de 30 Milímetros (FCA - 30 mm 3%)

Absorção de Água (AA)

Acelerador de cobalto (CAT-MET)

American Society for Testing and Materials (ASTM)

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

Grama por centímetro cúbico (g/cm³)

Campus Tucuruí (CAMTUC)

Corpo de Prova (CP)

Dimetilanilina (DMA)

E colaboradores (*et al.*)

Fibra da Coroa do Abacaxi (FCA)

Fibra da coroa do Abacaxi (FCA)

Field Emission Gun (FEG)

Giga Pascal (GPa)

Grama (g)

Grau Celsius (°C)

Hectare (ha)

Laboratório de Catálise (LABCAT)

Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM)

Laboratório de Engenharia Química (LEQ)

Laboratório de Materiais Porosos Sintetizados (LAMPS)

Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LME)

Limite de Resistência à Tração (LRT)

Limite de Resistência à Flexão (LRF)

Massa Específica Aparente (MEA)

Massa imersa (Mi)

Massa seca (M_s)
Massa úmida (M_u)
Mega Pascal (MPa)
Matriz Polimérica (MP)
Minuto (Min)
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)
Milímetro (mm)
Milímetro por minuto (mm/min)
Módulo de Elasticidade (ME)
Naftenato de Cobalto (CoNap)
Norma técnica brasileira (NBR)
Peróxido de Metil Etil Cetona (MEK-P)
Policloreto de Vinila (PVC)
Polietileno de baixa densidade (PEBD)
Porcentagem (%)
Porosidade Aparente (PA)
Quilonewton (kN)
Tonelada (t)
Universidade Federal do Pará (UFPA)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa e Motivação	20
1.2	Objetivos	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos.....	20
1.3	Síntese do Trabalho.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Materiais Compósitos	23
2.2	Compósito com Matriz Polimérica.....	24
2.2.1	Resina Poliéster.....	25
2.3	Reforços em Compósitos com Matriz Polimérica.....	27
2.3.1	Compósitos Reforçados com Fibras	28
2.3.2	Fibras Lignocelulósicas.....	29
2.3.3	Coroa do Abacaxi.	32
2.4	Fabricação Manual (<i>hand lay-up</i>)	34
3	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	36
3.1	Materiais	37
3.1.2	Material de Reforço: Fibra da Coroa do Abacaxi (FCA).....	37
3.2	Equipamentos utilizados	38
3.3	Procedimentos Experimentais	39
3.3.1	Extração da Fibra da Coroa do Abacaxi	39
3.3.2	Determinação da Massa Específica das Fibras.....	41
3.3.3	Caracterização Morfológica por MEV	42
3.4	Caracterização dos Compósitos	43
3.4.1	Ensaio Físicos.....	43

3.4.2 Ensaio Mecânico de Tração	44
3.4.3 Ensaio Mecânico de Flexão	46
3.5 Análise Estatística.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 Caracterização das Fibras	49
4.1.1 Massa Específica.....	49
4.1.2 Caracterização Morfológica por MEV	50
4.2 Viabilidade de Confeção	51
4.3 Caracterizações dos Compósitos	52
4.3.1 Ensaio Físicos.....	52
4.3.2 Ensaio Mecânico de Tração	59
4.3.3 Ensaio Mecânico de Flexão.....	69
5 CONCLUSÃO	78
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	79
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

O primeiro relato histórico sobre o desenvolvimento do material compósito reforçado com fibras aconteceu na antiga civilização egípcia, por volta de 4000 a.C., com a criação do papel de papiro. Essa inovação revolucionou a maneira como as sociedades preservavam as informações preciosas e, ao longo de muitos séculos, o papel de papiro tornou-se o principal produto de exportação do antigo Egito (HERAKOVICH *et al.*, 2012; KIELING *et al.* 2019).

O material compósito se destaca pela presença de duas ou mais fases, distintas tanto fisicamente quanto quimicamente, as quais são organizadas e interconectadas por meio de uma interface. Este material exhibe propriedades singulares que não são observadas em nenhum de seus constituintes quando analisadas isoladamente (CHAWLA, 2019).

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais têm sido amplamente estudados em pesquisas para o avanço tecnológico de novos materiais, com a finalidade de aplicabilidade nas indústrias aeroespaciais, navais, automobilística, entre outras. Esse tipo de compósito promove um menor impacto ambiental, excelente custo/benefício, baixa densidade e possui propriedades mecânicas interessantes (CASTRO *et al.*, 2019; KHALID *et al.*, 2021).

Segundo a agência de defesa agropecuária do estado do Pará, o Brasil é o terceiro produtor mundial de abacaxi. o Pará é o maior produtor nacional de abacaxi, com 22.726 unidades por hectare. Floresta do Araguaia, Conceição do Araguaia e Salvaterra são os municípios que lideram a produção, com cerca de 426.780 milhões de abacaxis produzidos ao ano (ADEPARÁ, 2020).

Devido à grande produção das atividades agropecuárias do abacaxi no estado do Pará, ocorre o descarte residual dos excedentes da fruta; a coroa, um produto que contém fibras, que podem ser extraídas a partir desta porção descartada, e a mesma pode ser reaproveitada como potencial uso de suas fibras como reforço nos compósitos poliméricos. Deste modo, o presente trabalho fabricou compósitos de matriz polimérica com fibras da coroa de abacaxi proveniente do município de Salvaterra - PA, e realizou-se caracterizações físicas e mecânicas com a finalidade de avaliar as propriedades desse material.

1.1 Justificativa e Motivação

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais representam uma alternativa para atender a demanda do desenvolvimento sustentável. As fibras naturais, como as provenientes do abacaxi, são abundantes, renováveis e biodegradáveis, tornando-as uma opção mais sustentável do que as fibras sintéticas, que são derivadas do petróleo ou de outros poluentes (SANTOS *et. al.*, 2020).

A plantação em larga escala do abacaxi no Brasil gera um elevado volume de resíduos, especialmente as coroas, que muitas vezes são descartadas sem aproveitamento. Ao transformar esses resíduos em recursos para a indústria de compósitos, não apenas se reduz o impacto ambiental, mas também pode contribuir para o crescimento econômico local (COUTINHO, 2018).

Nesse sentido, esta pesquisa propõe-se não apenas a contribuir para o avanço do conhecimento científico em fibras naturais incorporadas em compósitos poliméricos, mas também a oferecer uma perspectiva prática e aplicada, alinhada com os princípios da sustentabilidade e inovação de materiais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as propriedades físicas e mecânicas de compósitos poliméricos utilizando fibras provenientes da coroa do abacaxi.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a morfologia das fibras por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para verificar a influência da morfológica das fibras nos compósitos fabricados.
- Analisar a viabilidade de fabricação dos compósitos poliméricos com a adição da fibra da coroa do abacaxi, nas proporções em massa de 0%, 1%, 2% e 3%.

- Realizar análises físicas por meio dos ensaios de Massa Específica Aparente (MEA), Porosidade Aparente (PA) e Absorção de Água (AA) para a análise das propriedades dos compósitos fabricados.
- Avaliar o desempenho mecânico por meio dos ensaios de tração e flexão dos compósitos das séries fabricadas, analisando a influência da fração mássica, a morfologia e os comprimentos das fibras da coroa do abacaxi de 15 mm e 30 mm.

1.3 Síntese do Trabalho

Este trabalho teve como propósito a fabricação e caracterização de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de coroa de abacaxi, pertencentes à categoria de compósitos reforçados com fibras naturais. Esses materiais, destacam-se por sua natureza ecológica, leveza, desempenho, biodegradabilidade, custo reduzido e contribuem para a crescente demanda por sustentabilidade ambiental.

A seção 1 apresenta a introdução e os objetivos da pesquisa, visando contextualizar a importância e o potencial uso das fibras da coroa do abacaxi na indústria dos compósitos, sendo produtos alternativos às fibras sintéticas e ecologicamente sustentáveis na indústria.

A seção 2 aborda a revisão bibliográfica sobre os materiais compósitos. O enfoque é direcionado para matrizes poliméricas e a utilização de fibras naturais como reforço em compósitos. A fibra da coroa do abacaxi é mencionada como um material promissor devido às suas características e ampla disponibilidade.

A seção 3 expõe a metodologia utilizada nesta pesquisa, descrevendo os materiais e os processos experimentais, desde a aquisição das coroas do abacaxi até as caracterizações dos corpos de provas.

A seção 4 exibe os resultados provenientes das análises conduzidas nos compósitos fabricados, sendo as discussões elaboradas com o suporte de gráficos e tabelas.

A seção 5 revela as conclusões derivadas dos resultados da pesquisa, destacando os objetivos alcançados e oferecendo sugestões para trabalhos futuros.

As referências bibliográficas são devidamente citadas ao final do documento para reconhecer e atribuir créditos às fontes consultadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Materiais Compósitos

Os materiais compósitos são utilizados desde os tempos remotos; no entanto, o reconhecimento do material como uma nova classe distinta dos metais, cerâmicas e polímeros, ocorreu somente na metade do século XX (CALLISTER, 2020).

No século XX, durante a Segunda Guerra Mundial, houve uma ampla utilização dos materiais compósitos. A indústria aeroespacial e bélica impulsionou a fabricação em larga escala desses materiais. Devido às suas características marcantes, os materiais compósitos também foram incorporados em outros setores industriais, como automotivo e naval. Esses materiais despertaram grande interesse devido às suas propriedades benéficas, tais como alta resistência e baixa densidade (EBERSBACH *et al*, 2019; CAVALHER, 2019).

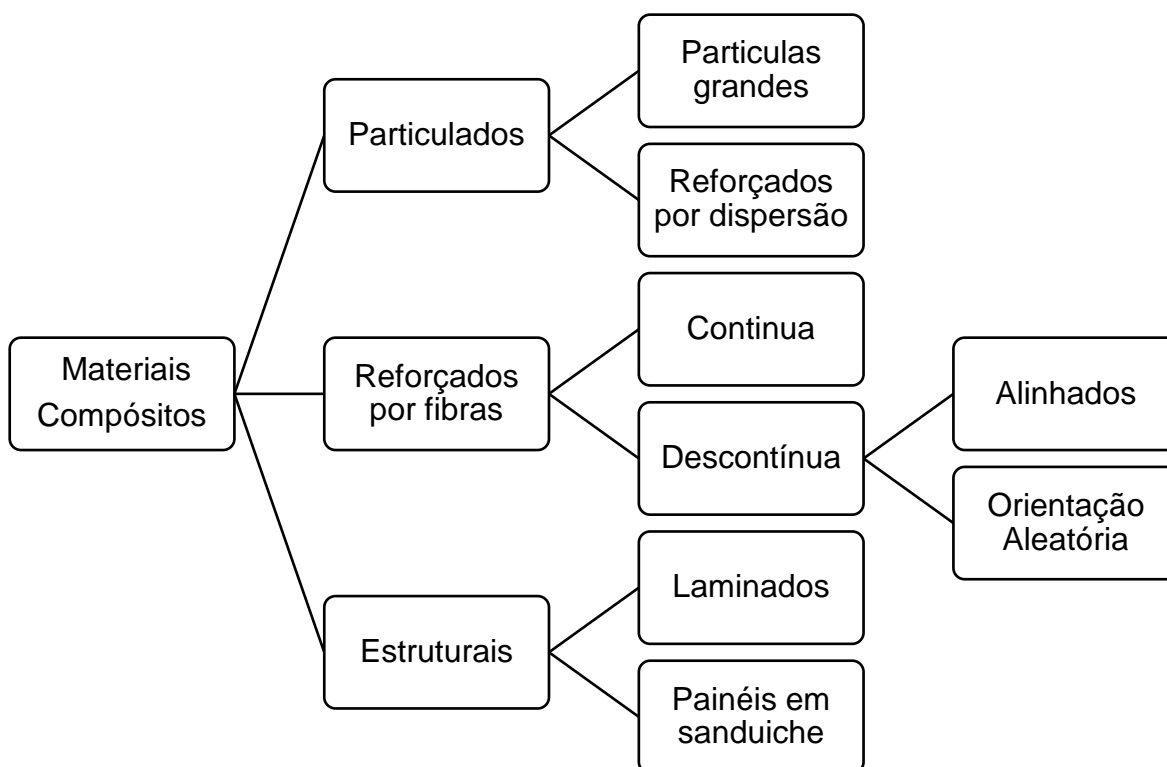
O material compósito é constituído duas ou mais fases que busca melhorar as propriedades físicas e mecânicas do material. A fase contínua, denominada de matriz, é mais vulnerável, e a fase dispersa, intitulada de reforço, é mais rígida e resistente. As propriedades do compósito dependem da geometria e características das fases. A uniformidade é determinada pela distribuição do reforço na matriz (TIMBÓ *et al*, 2020).

A matriz pode ser metálica, cerâmica ou polimérica e possui a função de dispersar a carga, proteger o reforço de ambientes nocivos, fixar a fase dispersa no material e evitar a perda gradual do reforço devido ao atrito. O desempenho do compósito depende da seleção adequada da matriz, que deve ser compatível quimicamente com o reforço, garantindo uma boa adesão garantindo a redução da propagação de trincas e outras formas de falha no material (OLIVEIRA, 2022).

A fase denominada de reforço pode se apresentar na forma de fibras longas, curtas, partículas, flocos e outros. O reforço mais utilizado é as fibras, pois são fortes e rígidas. As fibras mais utilizadas são as de vidro, carbono e aramida, pois apresentam firmezas e altas resistências (GONÇALVES, 2020; PINHEIRO, 2022).

A Figura 1 ilustra um esquema que representa de classificação dos materiais compósitos.

Figura 1 - Classificação dos materiais compósitos.



Fonte: Adaptado de Callister (2020).

2.2 Compósito com Matriz Polimérica

O compósito com matriz polimérica é constituído por uma matriz composta por várias unidades de repetição, conhecidas como monômeros, que se conectam através de ligações covalente. Quando esses monômeros reagem entre si, ocorre a polimerização, resultando na formação de longas cadeias (ALVES, 2022).

As matrizes poliméricas podem ser divididas entre termoplásticas e termorrígidas. As matrizes termoplásticas apresentam características distintas das termorrígidas; elas possuem capacidade de passar por um processo de fusão e solidificação repetitivo, tornando o seu processo de cura reversível. Em geral, os termoplásticos podem ter menos rigidez em comparação com termorrígidos. Isso pode limitar sua aplicação em situações que exijam alta tensão ou resistência estrutural (TEXEIRA, 2023; BARBOSA, 2020).

As matrizes termorrígidas passam por um processo de cura irreversível, resultando na formação de ligações cruzadas que tornam o material rígido, envolvendo mudança química e física de uma formulação de resina com no qual pode ser em conjunto com catalisador, originando uma estrutura tridimensional que

não pode ser alterada quando endurecida; são infusíveis, insolúveis e apresentam propriedades marcantes, como resistência mecânica, química e à umidade (DOMINGUES, 2019; BATISTA, 2023; LEVY NETO e PARDINI, 2016).

Tradicionalmente, o poliéster insaturado é o polímero termorrígido mais utilizado como matriz em compósitos reforçados por fibras, devido ao seu curto tempo de cura, transparência e baixo custo (OLIVEIRA, 2020; DECKER, 2020).

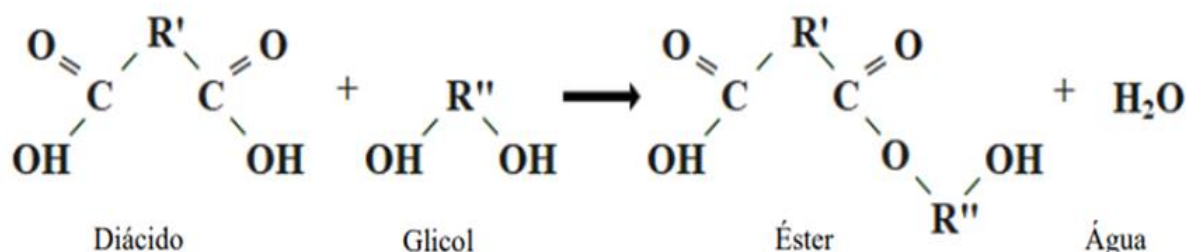
Os termorrígidos também são conhecidos como termofixos. Após o enrijecimento, o aumento de temperatura e pressão não têm mais influência. Assim, os termorrígidos são moldados antes da cura (CANEVALORO JÚNIOR, 2013).

2.2.1 Resina Poliéster

A resina poliéster é um líquido viscoso que, por meio de uma reação de polimerização em etapas, sofre a cura através de uma reação exotérmica, transformando-se em um sólido rígido infusível. A cura da resina acontece com a adição de um agente catalisador com a combinação dos aceleradores naftenato de cobalto (CoNap) ou dimetilnilina (DMA), em uma proporção de 0 a 0,3% em massa (GERMANO, 2022).

A resina poliéster pode ser classificada como insaturada ou saturada, correspondendo a termorrígido e termoplástico, respectivamente. O processo de formação acontece por grupos de ésteres, resultantes da condensação de ácidos orgânicos dicarboxílicos e glicóis, formando cadeias lineares longas, exibida na Figura 2 (ARAÚJO; MARTINS, 2022).

Figura 2 - Reação de formação da resina poliéster.



Fonte: Canevaloro Júnior (2013).

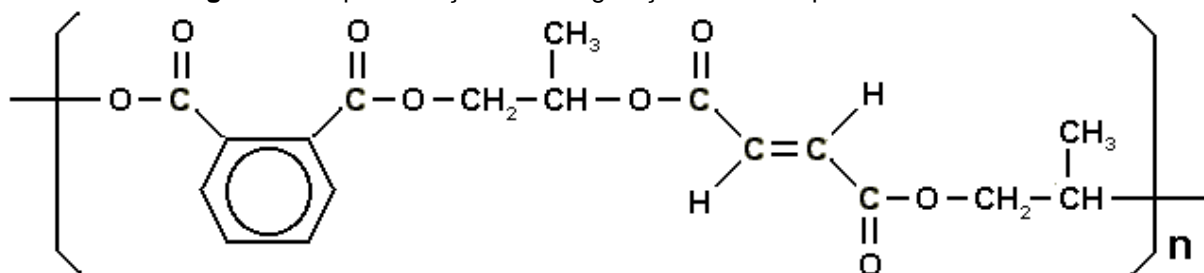
Esta resina é amplamente utilizada industrialmente devido às suas boas propriedades, como alta aderência a substratos, estabilidade dimensional,

resistência à tração e compressão, resistência química e elétrica, baixa viscosidade, cura à temperatura ambiente e facilidade de processamento (SILVA, 2022).

2.2.1.1. Resina Poliéster Ortoftálica

A resina poliéster ortoftálica é um termorrígido obtido através do ácido ftálico, originado pela reação química formada pelo grupo carboxila na posição orto do anel benzênico, como mostra a Figura 3. O anidrido ftálico possui uma tendência à regeneração a partir dos ésteres do ácido ftálico (uma reação reversível). Este fato proporciona o baixo peso molecular (SANTOS JÚNIOR, 2017; SILAEX, 2018).

Figura 3 - Representação da configuração da resina poliéster ortoftálica.



Fonte: Adaptado Silaex, 2018.

Quando a resina poliéster ortoftálica é utilizada em compósitos, proporciona leveza devido ao seu baixo peso específico, boa resistência química, longa vida útil e baixa reatividade. Após o processo de cura, as peças fabricadas com esse tipo de resina podem ser submetidas ao processo de lixamento, torneamento e polimento, preservando suas superfícies de danos e mantendo a integridade da peça. É utilizada na fabricação de reservatórios de água, piscinas, peças automotivas, telhas, cascos de embarcações e outros (SANTOS JÚNIOR, 2017; SOUZA 2019).

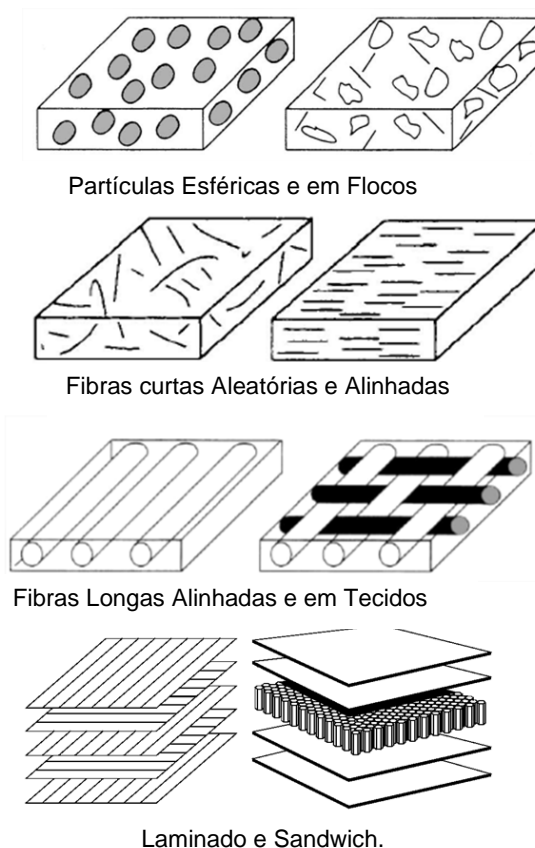
2.3 Reforços em Compósitos com Matriz Polimérica

O reforço é o componente responsável por suportar as cargas mecânicas, modificar ou adicionar propriedades aos materiais compósitos. Seu principal efeito é aumentar a resistência à tração, à tenacidade, ao calor, à corrosão e condutividade (GERMANO, 2022).

É possível classificar os tipos de carga em matriz polimérica quanto ao tamanho, forma, distribuição e orientação da carga. O reforço pode ser constituído por fibras contínuas ou longas, fibras descontínuas ou curtas, partículas, laminados ou sandwich. A escolha do tipo de reforço deve considerar suas características, os custos envolvidos, as técnicas de fabricação do material e o desempenho final desejado (ARAÚJO; MARTINS, 2022; LOURENÇO, 2017; CALLISTER, 2020).

A Figura 4 ilustra a classificação dos reforços quanto as suas características geométricas.

Figura 4 - Tipos de reforços em compósito com matriz polimérica.



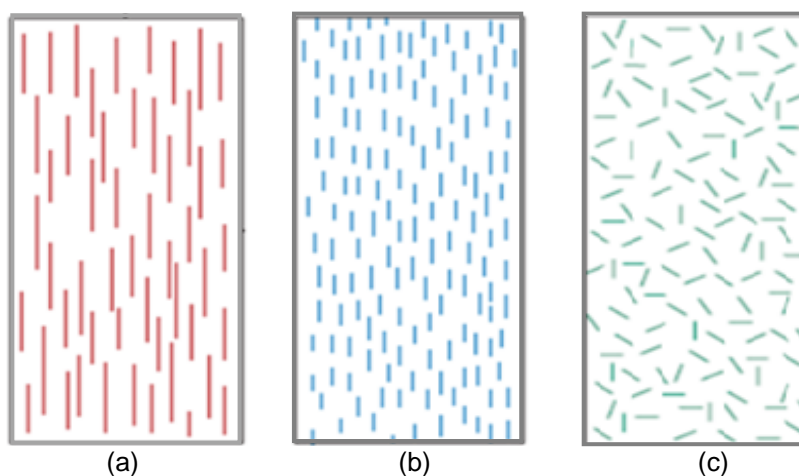
Fonte: Adaptado Lourenço, 2017.

2.3.1 Compósitos Reforçados com Fibras

A forma como as fibras são inseridas da matriz exerce um papel importante na determinação da resistência do compósito. Fibras longas dispostas em arranjos unidirecionais proporcionam um aumento de resistência. No entanto, quando as fibras estão descontínuas e orientadas aleatoriamente a um mesmo plano, resulta em uma maior incerteza quanto à melhoria da resistência no material (ZANCANELLA *et. al.*, 2018).

Com base no tipo de aplicação e no processo de fabricação, a forma como a fibra será mantida na matriz é escolhida. No caso de aplicações estruturais, é recomendado o uso de fibras contínuas ou fibras longas, enquanto para aplicações não estruturais, fibras curtas são preferíveis. A Figura 5 mostra a representação de compósitos reforçados com fibra contínua e alinhada; da descontínua e alinhada e da descontínua orientada aleatoriamente (SANTOS, 2017; CALLISTER 2020).

Figura 5 - Ilustração de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.



Fonte: Adaptado Callister, 2020.

O emprego das fibras como reforço tem sido objeto de extensas pesquisas por parte dos cientistas, em busca de descobrir novas propriedades e explorar as possibilidades de aplicações em compósitos na sua fase de reforço. A fase dispersa, constituída por fibras, possui o objetivo de fornecer maior resistência mecânica, redução de peso, custo e ocasionar mudanças nas propriedades do material (LIMA, 2017).

A fibra mais utilizada para a confecção dos compósitos é a sintética; as mais comuns são poliéster, poliamida, acrílico e polipropileno. No entanto, essas fibras apresentam desvantagens como consumo elevado de energia durante seu processo de obtenção, falta de capacidade de reciclagem e não são biodegradáveis (PINHEIRO, 2022).

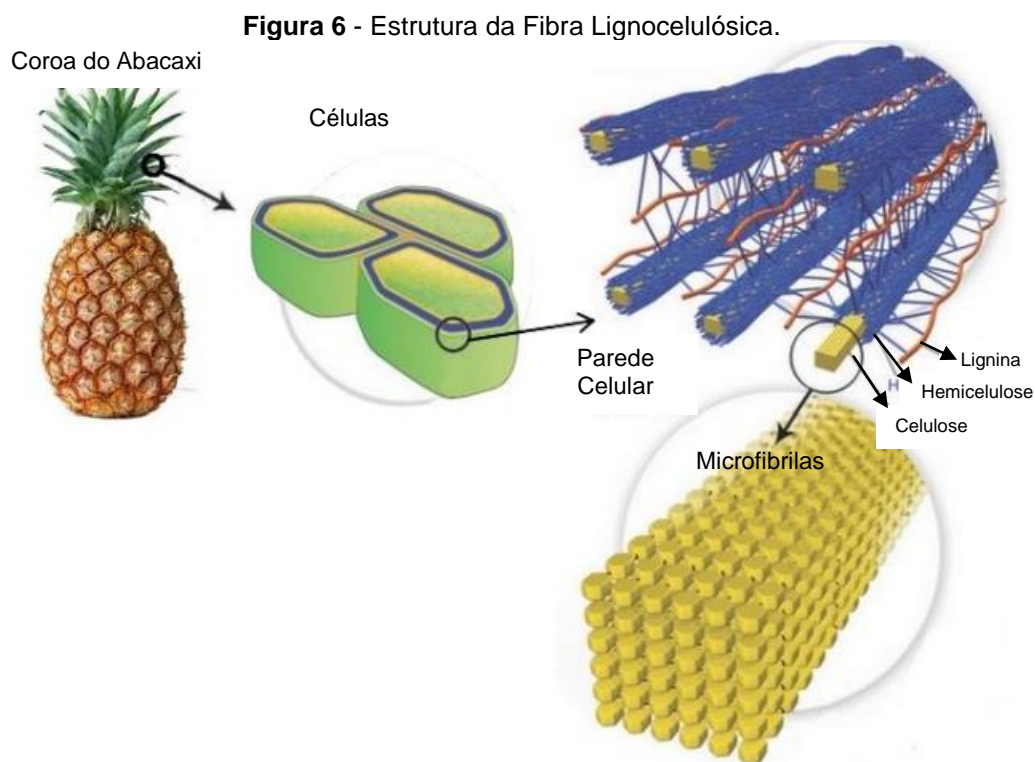
A procura pelo desenvolvimento sustentável está conduzindo ao progresso dos materiais compósitos fortalecidos por fibras de origem natural e à confecção de materiais ecológicos. As vantagens em termos sociais e ambientais conferem maior ênfase às fibras naturais como uma opção de material alternativo para substituir as fibras sintéticas na criação de novos materiais compósitos (OLIVEIRA, 2023; VARELA, 2017).

2.3.2 Fibras Lignocelulósicas

As fibras lignocelulósicas são compostas por celulose, lignina e hemicelulose, em proporções aproximadas de 35-55% em peso de celulose, 10-25% em peso de lignina e de 20 a 40% em peso de hemicelulose, juntamente com extratos, cinzas, ceras e minerais (YANG *et al.*, 2019; SANTOS, 2023).

A celulose é composta por subunidades repetidas não ramificadas de glicose, conectadas por meio de ligações glicosídicas organizadas em cadeias paralelas. Essa unidade repetitiva, conhecida como celobiose, contém seis grupos hidroxila que estabelecem interações do tipo ligações de hidrogênio intra e intermolecular. A presença de grupos hidroxila confere à celulose uma maior habilidade para formar ligações de hidrogênio, resultando na criação de regiões semicristalinas denominadas microfibrilas, obtidas por um processo de homogeneização (VÂRBAN *et al.*, 2021; COLARES NETO, 2022)

As microfibrilas proporcionam à celulose propriedades como elevada resistência, rigidez e insolubilidade na maioria dos solventes orgânicos. Essas características exibem as fibras naturais como um excelente material para reforço em compósitos. A estrutura da fibra lignocelulósica pode ser observada na Figura 6 (AYRES, 2022; COUTINHO, 2018).



Fonte: Adaptado Coutinho, 2018.

A hemicelulose é um polissacarídeo que se diferenciam da celulose por conter em sua composição diversos tipos de monômeros de açúcar, conhecido como hexose, pentose e ácidos urônicos. Estes polímeros ramificados, de natureza amorfa, possuem baixo grau de polimerização e cadeias mais curtas em comparação com a celulose. A hemicelulose promove a flexibilidade e impede o contato entre as microfibrilas (SILVA *et. al.*, 2015; ASHOKKUMAR *et al.*, 2022; COUTINHO, 2018).

A lignina é uma macromolécula aromática, ramificada e amorfa. Em conjunto com a hemicelulose, desempenha o papel de conferir rigidez e proteção, além de atuar como agente ligante que mantém a coesão entre a celulose e a hemicelulose. É encontrada nas paredes celulares das plantas, possui uma resistência a degradação maior que a celulose e a hemicelulose; a sua estrutura complexa reticulada a torna resistente à degradação térmica (CARVALHO, 2022; YANG *et. al.*, 2019).

A utilização de fibras naturais em compósitos poliméricos apresenta diversas vantagens, tais como baixa densidade, disponibilidade, menor custo, biodegradabilidade, capacidade de reciclagem, estabilidade térmica e exibem uma ampla variedade de propriedades físicas e mecânicas. Essas propriedades são

influenciadas pela fonte das fibras e suas características, como diâmetro, comprimento, densidade, entre outras, determinando assim as suas aplicações (NURAZZI *et al.* 2021; RAJESHKUMAR *et al.* 2021).

2.3.2.1 Fibra da Coroa do Abacaxi

As Fibras da Coroa do Abacaxi (FCA) são um recurso natural e renovável que tem sido objeto de estudo para sua aplicação em compósitos poliméricos. A pesquisa de Brito (2022), exibe que a fibra é constituída por 68% a 85% de celulose, 5% a 12% de lignina, 16% a 19% de hemicelulose e cerca de 3% de cinzas e ceras.

De acordo com as pesquisas de Joshi *et al.* (2021), as FCA demonstraram resistência mecânica em virtude do seu elevado teor de celulose, superando outras fibras naturais. Além disso, esses estudos evidenciam que a incorporação de FCA em compósitos à base de resina epóxi oferece diversas vantagens, como leveza, custo de produção reduzido, rigidez, facilidade de processamento, entre outros.

Luz *et al.* (2018) realizaram um estudo comparativo entre as FCA e as Fibras de Coco em matrizes epóxi sem tratamento químico. Os testes de arrancamento revelaram que a Fibra de Coco apresentou um comprimento crítico 70% superior, indicando menor adesão interfacial com a matriz de epóxi. Em testes de tração, os compósitos com FCA exibiram mais que o dobro da resistência à tração e um módulo de elasticidade superior em comparação com os compósitos de fibra de coco. Nos ensaios balísticos, o compósito com FCA demonstrou menor profundidade de penetração (18,2 mm), destacando um desempenho superior em relação ao compósito com fibra de coco (31,6 mm). Esses resultados apontam para os potenciais vantagens das Fibras da Coroa do Abacaxi em aplicações de compósitos, evidenciando propriedades mecânicas e balísticas superiores em comparação com as fibras de coco não tratadas quimicamente.

Gomes (2015) efetuou uma pesquisa em sua tese de doutorado sobre as Fibras da Coroa do Abacaxi (FCA) em compósitos poliméricos de matriz epóxi e poliéster. Com 30% de FCA, os compósitos apresentaram melhorias nas propriedades mecânicas em tração, flexão e impacto. Nos ensaios de tração, os compósitos epóxi e poliéster reforçados com FCA exibiram valores semelhantes de resistência máxima e módulo de elasticidade. No ensaio de flexão, os compósitos de matriz epóxi com FCA mostraram leve vantagem em resistência máxima e módulo

de elasticidade em comparação com os compósitos de matriz poliéster com FCA. No ensaio de impacto, os compósitos de poliéster com FCA demonstraram maior absorção de energia em comparação com os compósitos de epóxi com FCA.

Steffen (2022) realizou o estudo de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras vegetais de coroa de abacaxi e de casca de arroz, preparadas e tratadas quimicamente por meio de uma solução alcalina. Os compósitos foram desenvolvidos em diferentes proporções de fibras, sendo elas 5%, 10% e 20%, (em massa). O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho mecânico e realizar uma comparação. O estudo concluiu que os compósitos com Fibras de Casca de Arroz e com FCA, apresentaram propriedades de resistência à tração superior ao polímero reciclado puro. No entanto, não foi observado um aumento efetivo na resistência ao impacto, tanto nos compósitos com FCA quanto nos compósitos com Casca de Arroz.

Araujo *et al.* (2023) desenvolveram argamassas com fibras sintéticas (de vidro, poliéster) e fibras naturais (de açai e de FCA). Os pesquisadores submeteram as fibras a ciclos de molhagem-secagem e ataques salinos durante 28 dias. Após este período, verificou-se que todas as composições evitaram a penetração de água, preservando a resistência mecânica da matriz ao impedir o transporte de íons. Entretanto, em condições de ataque salino, as fibras sintéticas de vidro e poliéster mantiveram um desempenho superior em relação as fibras naturais, destacando-se na resistência mecânica das argamassas com fibras sintéticas.

2.3.3 Coroa do Abacaxi.

O abacaxi, *Ananas comosus*, faz parte da família *Bromiliaceae* e é proveniente de uma planta de pequeno porte, perene e herbácea chamada abacaxizeiro. De acordo com as estatísticas da Companhia Nacional de Abastecimento, aproximadamente 27,4 milhões de toneladas de abacaxi foram gerados globalmente em 2017. As maiores colheitas de abacaxi ocorrem em regiões de clima tropical e subtropical. A temperatura tem uma relação direta com o crescimento dos frutos e define os lugares adequados para o cultivo (HAZARICA, 2017).

Devido ao clima tropical predominante no Brasil, o cultivo do abacaxi é viável em praticamente todo o território nacional. O estado do Pará assume uma posição

de liderança nessa atividade. Em 2021, a colheita de abacaxi no Pará atingiu aproximadamente 361 milhões de frutos, representando cerca de 25% da produção nacional. O município de Salvaterra, destaca-se como uma região proeminente para o cultivo desse fruto, conforme ilustrado na Figura 7 (G1, 2022).

Figura 7 - Plantação de abacaxi no município de Salvaterra – PA.



Fonte: Agência Pará, 2022.

Em termos comerciais, o abacaxi é classificado como uma cultura primária devido ao seu cultivo ser destinado ao consumo, ao passo que as coroas do abacaxi são consideradas subprodutos ou resíduos. O Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor global de abacaxi e produz aproximadamente 45% de sua massa original em resíduos, devido ao descarte inapropriado de cascas e coroas, o que resulta em impactos ambientais negativos (DO *et al.* 2020; SANTOS *et al.*; 2013; HASHIM *et al.* 2021). A Figura 8 exibe o descarte irregular das coroas do abacaxi na cidade de Salvaterra.

Figura 8 - Coroas do abacaxi descartadas de forma irregular.



Fonte: Emater, 2021.

A obtenção de fibras a partir do excedente de coroas de abacaxi, com o propósito de fabricar materiais compósitos, é uma opção alternativa devido à elevada produção da fruta no país, garantindo a valorização e incorporação de tecnologia a um resíduo que seria descartado (REICHERT, 2021).

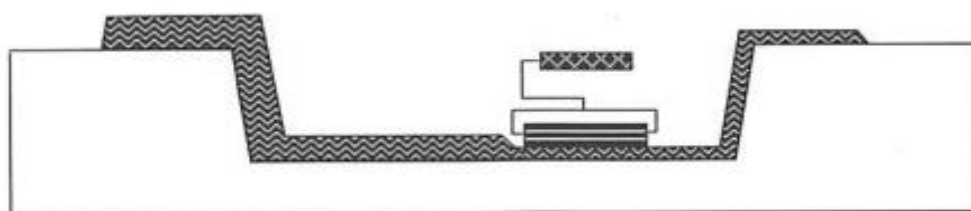
A qualidade e quantidade de fibras extraídas são influenciadas, principalmente, pelo processo de extração, a qual pode ocorrer de forma automatizada ou manual. No caso da extração automatizada, ela é realizada por meio de uma máquina desfibradeira, enquanto o processo manual envolve a raspagem das folhas. Estima-se que cada folha renda cerca de 2 a 3% de FCA (ASIM *et al.*, 2015).

2.4 Fabricação Manual (*hand lay-up*)

Os processos de fabricação dos materiais compósitos podem ser dividido em: processos de molde aberto e processos de molde fechados. A diferença está na qualidade de acabamento nas superfícies e na quantidade de moldes necessários para a conformação da peça. Exemplos de processos que utilizam molde aberto: *hand lay-up*, *spray-up*, enrolamento filamentar e a infusão. Os exemplos de fabricação de molde fechado são: a moldagem por prensagem e a moldagem por transferência de matriz (MARINUCCI, 2019; LEVY NETO e PARDINI 2016).

A fabricação *hand lay-up*, também conhecida como laminação manual, é um processo de fabricação simples e antigo para a obtenção de compósitos. É utilizado em uma ampla variedade de aplicações, incluindo a produção de protótipos, moldes e revestimentos. Este processo é dividido em quatro etapas principais: preparação do molde, revestimento em gel, disposição das fibras e cura. A Figura 9 ilustra o processo de fabricação *hand lay-up* (ABDUROHMAN *et al.*, 2018; THIESEN JUNIOR, 2016).

Figura 9 - Processo de fabricação *hand lay-up*.



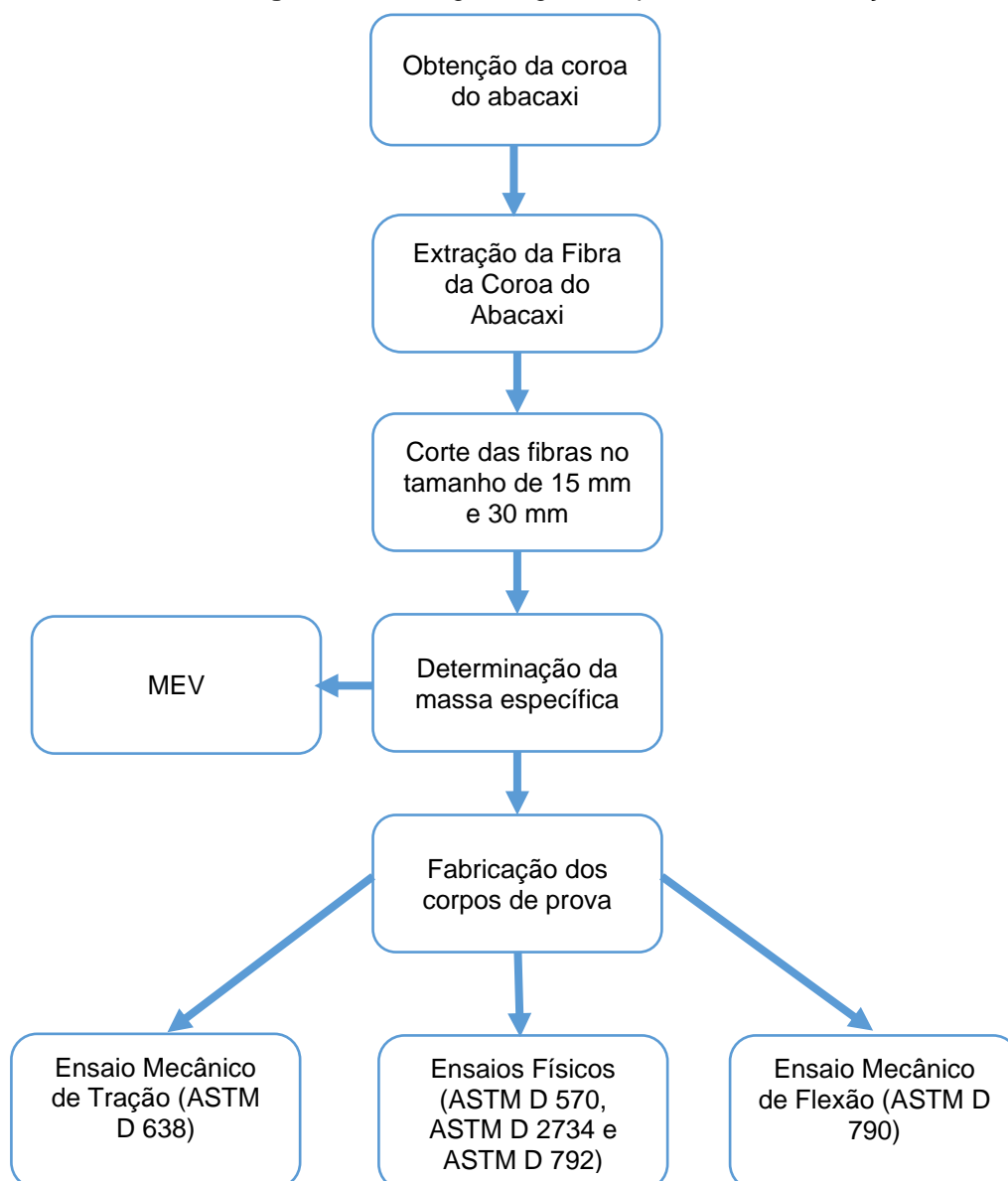
Fonte: LEVY NETO e PARDINI 2016.

A laminação manual apresenta grandes vantagens, como a simplicidade, alta adaptabilidade a novas alterações de design, flexibilidade de projeto e o baixo investimento. No entanto, esse processo também apresenta algumas desvantagens, como o tempo de confecção, a presença de vazios na estrutura do compósito e a dependência da habilidade técnica do laminador para a qualidade do produto. A ausência de conhecimento técnico sobre o material pode levar à insatisfação com os resultados, afetando as propriedades dos compósitos fabricados. Embora simples, o processo de laminação manual exige conhecimento técnico para garantir a qualidade do produto (MARINUCCI, 2019; LEVY NETO e PARDINI 2016).

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para a fabricação dos corpos de prova, foram utilizados os seguintes materiais, que serão explanados nesta seção. A Figura 10 exibe um fluxograma que destaca as principais etapas de fabricação dos compósitos, desde a aquisição até as caracterizações dos corpos de prova.

Figura 10 - Fluxograma geral do processo de fabricação.



Fonte: Autora, 2024.

3.1 Materiais

3.1.1.1 Matriz Polimérica

A matriz utilizada neste trabalho foi um polímero termofixo, a resina poliéster insaturada ortoftálica cristal da marca Fortcom 6100. O acelerador usado foi o de cobalto (CAT-MET) na proporção de 1,5% (v/v) e o iniciador utilizado foi o BUTANOX M-50 – peróxido de metil etil cetona - (MEK-P) na proporção de 1% (v/v).

O Quadro 1 exibe as principais características da resina poliéster ortoftálica utilizada, com base nos dados disponibilizados pelo fabricante.

Quadro 1 - Propriedades da Resina poliéster insaturada ortoftálica cristal Fortcom 6100.

Propriedade	Unidade	Medida
Densidade	g/cm ³	1,10 - 1,12
Viscosidade (sp3/12 RPM)	cP	1100 - 1600
Tempo de Gel	min	9 - 14
Intervalo de Pico	min	15 - 25
Pico Exotérmico	°C	130 - 180
Teor de Sólidos	%	64
Índice de Acidez	Mg KOH/g	30 máx.

Fonte: Autora (2024).

3.1.2 Material de Reforço: Fibra da Coroa do Abacaxi (FCA)

Como material de reforço, foram utilizadas fibras extraídas da coroa do abacaxi do tipo pérola, pertencente à família *Bromeliaceae*, proveniente da cidade de Salvaterra-PA. A coroa do abacaxi foi fornecida por uma comerciante da feira do bairro da Cidade Nova IV, localizada no município de Ananindeua-PA. A Figura 11 exibe o abacaxi antes da retirada da coroa.

Figura 11 - Abacaxi do tipo pérola antes da retirada da coroa.



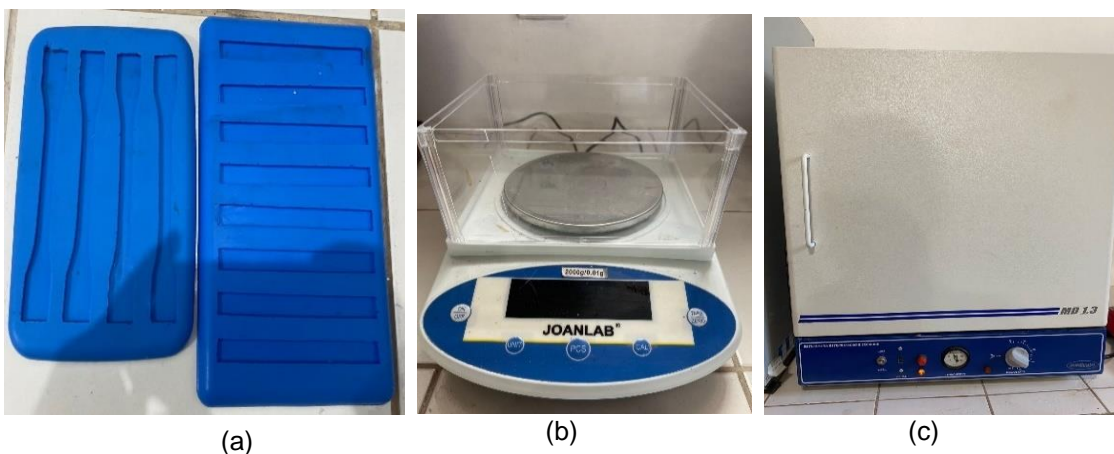
Fonte: Autora, 2024.

3.2 Equipamentos utilizados

No Laboratório de Catálise e Biocatálise da Faculdade de Engenharia Química, localizado na Universidade Federal do Pará (UFPA) - Campus Belém, foram utilizados os seguintes equipamentos para a elaboração deste trabalho:

- Moldes de silicone, sem desmoldante e sem pressão (Figura 12a);
- Estufa da marca Medicate (Figura 12b);
- Balança analítica SF-400C (Figura 12c);

Figura 12 - Moldes de silicone (a), estufa (b) e balança analítica de precisão (c).



Fonte: Autora, 2024.

3.3 Procedimentos Experimentais

3.3.1 Extração da Fibra da Coroa do Abacaxi

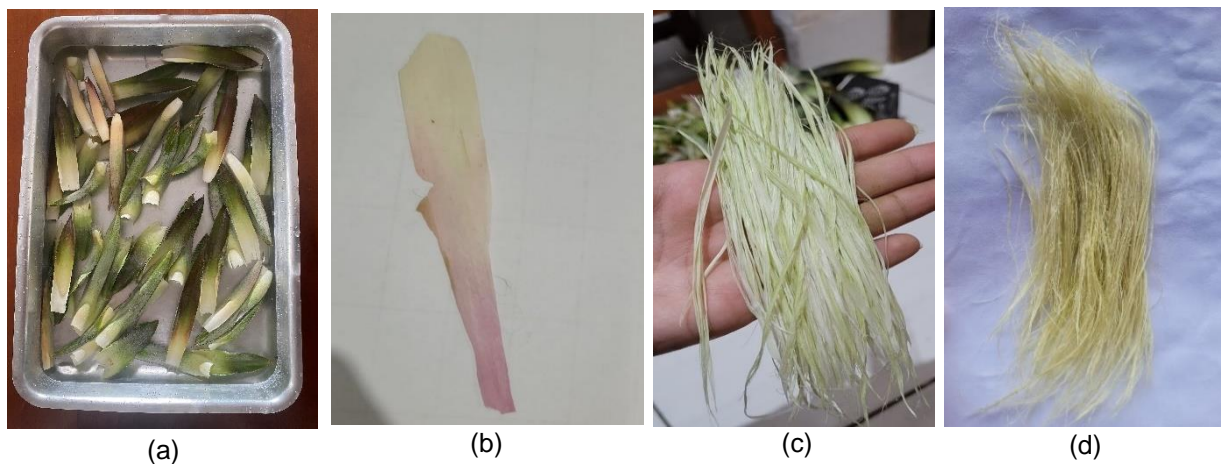
Inicialmente, a coroa foi retirada do fruto, seguida pelo desfolhamento. As folhas foram então imersas na água por vinte e quatro horas para facilitar a remoção das fibras. As fibras foram extraídas com o auxílio de uma faca de cozinha e limpas manualmente. Em seguida, passaram pelo processo de secagem natural por 24 horas e foram utilizadas *in natura* na confecção dos compósitos. A Figura 13 apresenta as folhas da coroa do abacaxi antes do procedimento de extração e a Figura 14 exhibe o processo de extração da fibra da coroa do Abacaxi.

Figura 13 - Folhas da coroa do abacaxi.



Fonte: Autora, 2024.

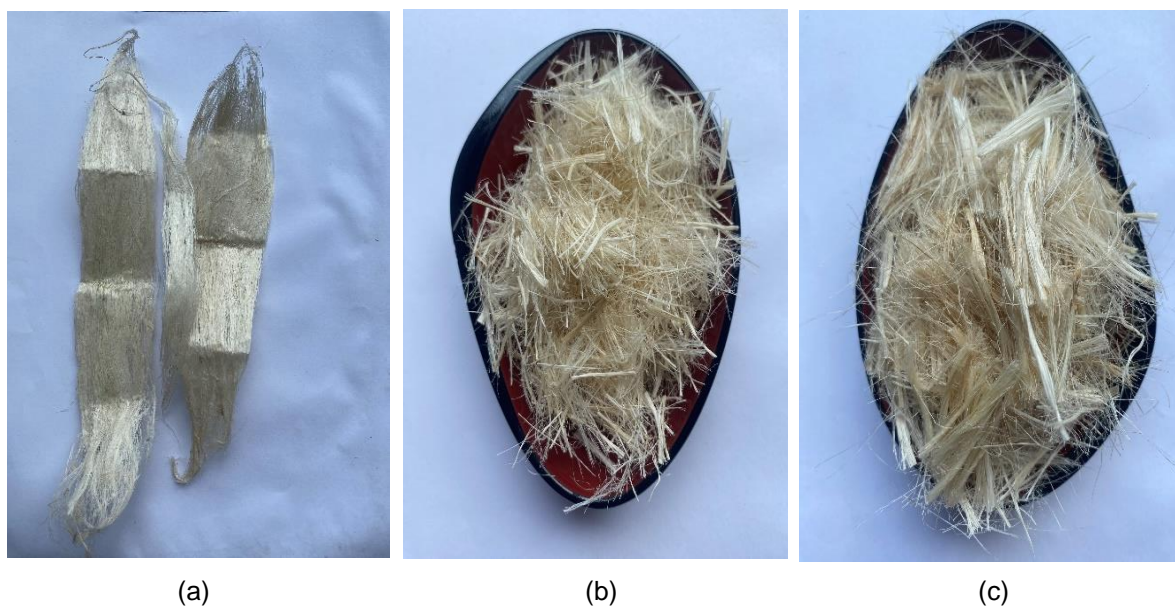
Figura 14 - As folhas da coroa do abacaxi imersas na água (a), fibras úmidas extraídas antes de passar pelo processo de limpeza manual (b), fibras limpas e em processo de secagem (c), fibras limpas e secas (d).



Fonte: Autora, 2024.

Após a extração, ocorreu o corte das fibras, sendo escolhido os comprimentos de 15 mm e 30 mm. Essas dimensões foram determinadas com base na pesquisa de Barbosa (2021) e Mendes (2019). A Figura 15 mostra as fibras antes do corte (a), após o corte de 15 mm (b) e após o corte de 30 mm (c).

Figura 15 - Fibras da coroa do abacaxi antes do corte (a); após o corte de 15 mm (b) e 30 mm (c).



Fonte: Autora, 2024.

3.3.2 Determinação da Massa Específica das Fibras

A determinação da massa específica das fibras da coroa do abacaxi foi realizada através do método do picnômetro. Esse procedimento envolveu a medição das seguintes massas: a massa do picnômetro vazio (m_1), a massa do picnômetro com a fibra (m_2), a massa do picnômetro com a fibra e água destilada (m_3) e a massa do conjunto contendo água destilada (m_4). Para obter uma maior precisão, foram analisadas três amostras seguindo o mesmo procedimento. Na Figura 16, é possível observar a ilustração das três amostras.

Figura 16 - Picnômetros contendo água e fibra (m_3).



Fonte: Autora, 2024.

Através desses dados, foi possível calcular a massa específica aparente utilizando a Equação 1.

Após a obtenção do resultado da massa específica aparente, foi possível calcular a massa dos componentes da mistura destinada à produção dos compósitos.

$$MEA = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 - m_2) - (m_1 + m_3)} * \rho_{H_2O} \quad (1)$$

A densidade da água (ρ_{H_2O}) é tabelada de acordo com a temperatura da água destilada utilizada.

3.3.3 Caracterização Morfológica por MEV

Realizou-se a caracterização morfológica através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de bancada, do modelo Tescan Mira 3, com canhão de elétrons tipo FEG (Field Emission Gun). Equipado com sistema de microanálise por espectroscopia de Raios-X por dispersão de energia (EDS). Utilizou-se uma metalizadora de amostras à base de ouro (as amostras foram metalizadas por 3 minutos) servindo como equipamento de apoio.

O objetivo desta caracterização foi avaliar a influência morfológica das fibras nas propriedades mecânicas e físicas dos compósitos. O aumento utilizado para análise foi de 100 e 250 vezes. A análise foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LME) - parte do conjunto de Laboratórios Institucionais do Museu Paraense Emílio Goeldi, instalado no Campus de Pesquisa, no bloco de laboratórios anexo ao Departamento de Ciências da Terra e Ecologia (COCTE).

3.3.3.1 Confeção dos Compósitos

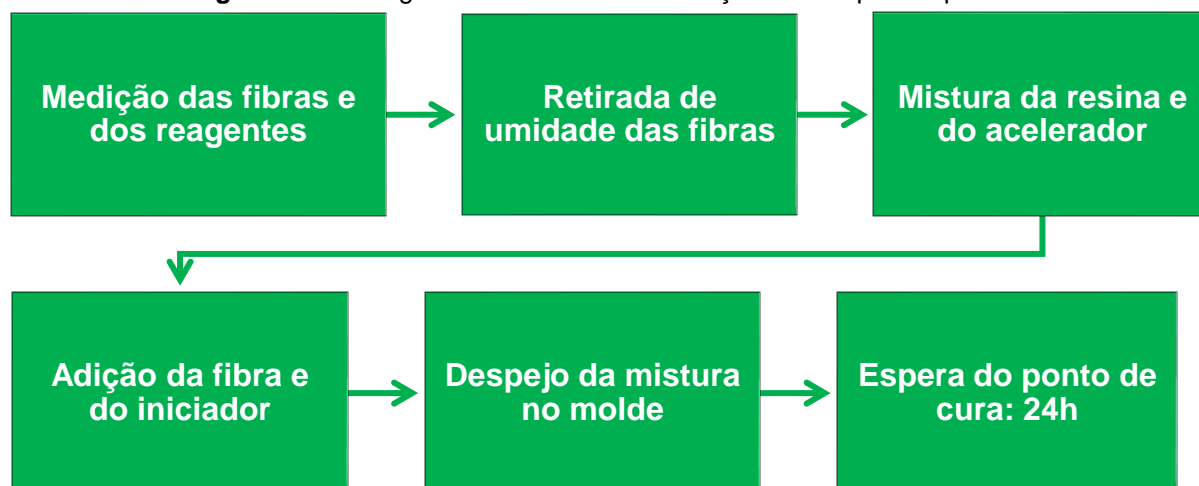
A fabricação dos corpos de prova seguiu três etapas. A primeira etapa consistiu na medição de fibra e reagentes, utilizando uma balança analítica. Em seguida, foi estabelecida as composições variando em proporções de 0%, 1%, 2% e 3% em massa. As proporções em fibras foram determinadas com base na pesquisa de Barbosa (2021) e Mendes (2019). As fibras foram colocadas na estufa a 100 °C para retirada da umidade durante vinte minutos. Após a retirada de umidade, iniciou-se o preparo da mistura, seguindo a ordem: resina, acelerador, fibra e iniciador. Cada componente foi misturado por 15 segundos.

Após a mistura homogeneizada, passou-se para a segunda etapa, na qual a mistura foi colocada em moldes de silicone devidamente nivelados em uma bandeja plana. Após o despejo, aguardou-se o ponto de cura e a polimerização completa.

Após vinte e quatro horas ocorreu a terceira etapa, que consistiu na retirada dos Corpos de Prova (CP's) dos moldes de silicone. Após a retirada dos CP's, eles foram submetidos ao acabamento superficial utilizando lixas com granulometria de 50 e 80 *mesh*. A fabricação seguiu as orientações das normas ASTM D 638 para ensaio de tração e ASTM D 790 para ensaio de flexão.

As etapas apresentadas do processo podem ser visualizadas no fluxograma apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Fluxograma ilustrativo da fabricação dos corpos de prova.



Fonte: Autora, 2024.

3.4 Caracterização dos Compósitos

3.4.1 Ensaio Físicos

Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Materiais Porosos e Sintetizados (LAMPS), Faculdade de Engenharia Química, localizado na Universidade Federal do Pará (UFPA) - Campus Belém. Os ensaios físicos de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEA) realizado nos Compósitos com Fibras da Coroa do Abacaxi e da Matriz Polimérica, seguiram as normas ASTM D 570, (1998); ASTM D 2734, (2009); e ASTM D 792, (2008), respectivamente, de acordo com as Equações (1), (2) e (3), onde M_U é a massa úmida, M_S é a massa seca e M_i é a massa imersa.

$$AA (\%) = \frac{M_U - M_S}{M_S} \times 100 \quad (2)$$

$$PA (\%) = \frac{M_U - M_S}{M_U - M_i} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{MEA (\%)} = \frac{M_s}{M_u - M_i} \times \rho_{\text{H}_2\text{O}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (4)$$

Para cada composição de compósito, foram utilizados cinco corpos de prova, garantindo a confiabilidade dos resultados dos ensaios físicos. Após a marcação para a identificação, eles foram colocados em uma estufa a 105°C e mantidos por 24 horas. Em seguida, para obter os resultados dos ensaios, as massas secas (M_s) dos corpos de prova foram determinadas. Posteriormente, os corpos de prova foram submersos em água destilada por mais 24 horas, para então determinar as massas úmidas (M_u) e as massas imersas (M_i). Todas as determinações foram realizadas em uma balança analítica, e na Figura 18, é possível visualizar o método de medição da massa imersa.

Figura 18 - Aparato utilizado para obter a medição da massa imersa dos corpos de prova.



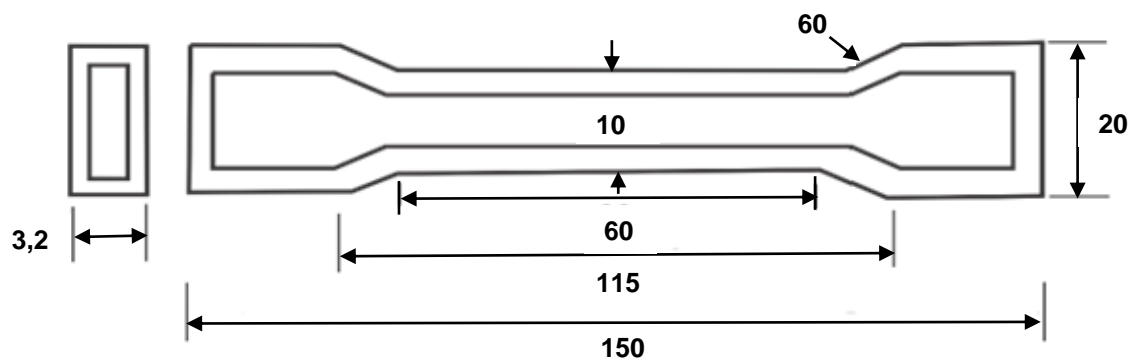
Fonte: Autora, 2024.

3.4.2 Ensaio Mecânico de Tração

O ensaio de tração é conduzido para determinar as propriedades relacionadas ao comportamento dos materiais quando submetidos a esforços mecânicos. O ensaio de tração foi conduzido no Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM) da Universidade Federal do Pará - Campus Belém, seguindo as diretrizes da norma ASTM D 638. Para a realização do ensaio, foram

confeccionados oito corpos de prova para cada proporção mássica de fibras, cujas dimensões estão representadas na Figura 19.

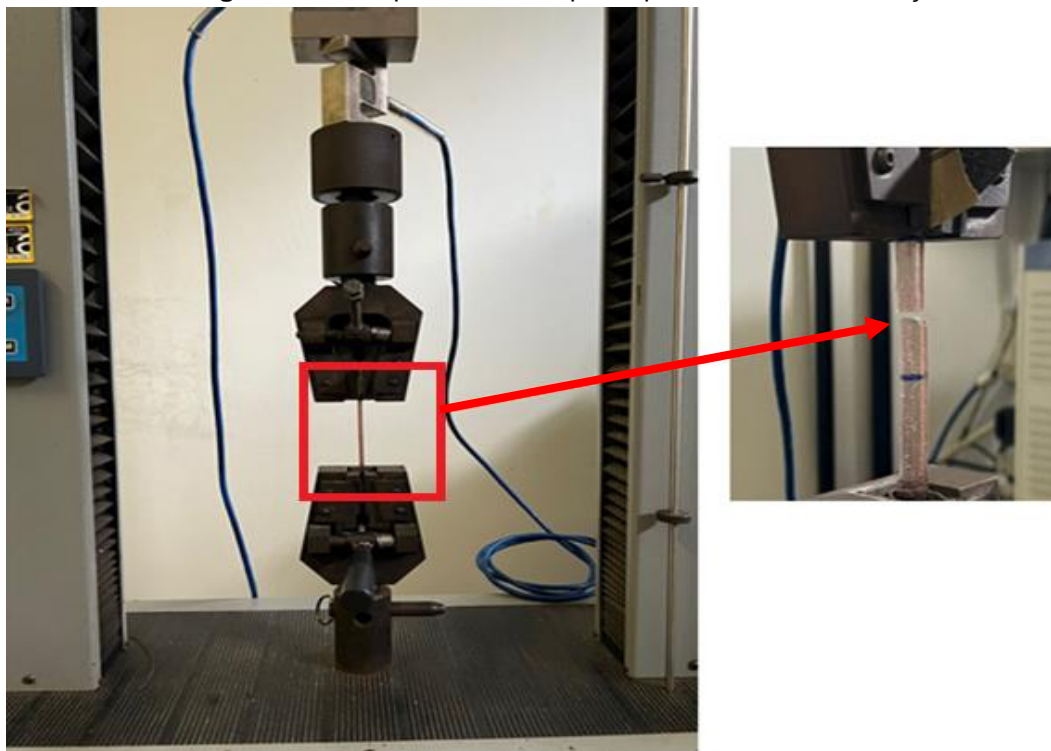
Figura 19 - Medidas em milímetros dos corpos de prova para o ensaio de tração.



Fonte: Autora, 2024.

O equipamento utilizado para a realização dos ensaios de tração foi o modelo KE 2000 MP da marca KRATOS. A velocidade de ensaio foi de 5 mm/min e configurada com uma célula de carga de 5 kN. A Figura 20 exibe o rompimento do corpo de prova após o ensaio de tração.

Figura 20 - Rompimento do corpo de prova no ensaio de tração.



Fonte: Autora, 2024.

3.4.3 Ensaio Mecânico de Flexão

O ensaio de flexão foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Pará - Campus Tucuruí (CAMTUC), seguindo a norma ASTM D 790. O equipamento utilizado para a realização do ensaio é da marca EMIC, modelo DL 500. A velocidade de ensaio foi de 2 mm/min e configurada com uma célula de carga de 5 kN. Este ensaio é utilizado em materiais frágeis, pois possibilita a determinação da tensão de ruptura, além de permitir a avaliação de outras propriedades mecânicas, como o módulo de elasticidade à flexão. Para a realização do ensaio, foram confeccionados oito corpos de prova para cada proporção de fibras, cujas dimensões usadas foram de 12,7 mm de largura x 127 mm de comprimento, com 2,7 mm de espessura (Figura 21).

Figura 21 - Ilustração das medidas em milímetros dos corpos de prova para a realização do ensaio de flexão.



Fonte: Autora, 2024.

3.5 Análise Estatística

Os resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos foram submetidos à análise estatística (ANOVA e Teste Tukey) de fator único através do software Past 4.03, com confiabilidade de 95%. Utilizou-se o teste F para realizar a análise, com o nível de significância de 5% para todos os testes. O objetivo desta análise foi verificar se os resultados das médias das caracterizações físicas e mecânicas se diferem entre si de maneira significativa em diferentes composições. A análise fornece uma abordagem estatística robusta, permitindo uma interpretação estatisticamente fundamentada dos resultados experimentais (CHUVES, 2023).

Nas análises em que o valor de F calculado exceder o F crítico, é possível afirmar que as médias dos resultados obtidos para cada tratamento diferiam significativamente entre si. A diferença entre as médias é atribuída à variação no

percentual de fibras da coroa do abacaxi que foi incorporado na matriz. Para realizar a Análise de Variância (ANOVA), utilizou-se os parâmetros estatísticos descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros ANOVA.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	F-Crítico
Tratamento	SQTr	k-1	QMT	QMT/QMR	Tabela F
Resíduo	SQR	k(R-1)	QMT		5% de significância
Total	SQT	n-1			

Fonte: Autora, 2024.

Onde:

SQ: Soma dos quadrados;

GL: Número de graus de liberdade;

MQ: Quadrado médio;

F: Estatística F;

SQTr: Soma dos quadrados dos tratamentos;

SQR: Soma dos quadrados do resíduo

SQT: Soma dos quadrados totais;

k: Número de tratamentos (percentual de reforço fibroso utilizado);

r: Número de repetições do tratamento;

n: Número total de observações;

n-1: Número total de graus de liberdade;

QMT: Quadrado médio dos tratamentos;

QMR: Quadrado médio do resíduo.

Nas análises em que o valor de F calculado exceder o F crítico, é possível afirmar que as médias dos resultados obtidos para cada tratamento apresentam diferenças significativas entre si. Sendo necessário conduzir o teste de Tukey para identificar quais pares de grupos são significativamente diferentes, com base na diferença mínima significativa (d.m.s.), calculada pela equação 5 (SANTOS, 2023).

$$d.m.s = \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad (5)$$

Onde:

q: Amplitude total (tabelada), obtida em função do grau de liberdade (GL) do resíduo e do número de tratamentos;

QMR: Quadrado médio do resíduo;

r: Número de repetições para cada tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das Fibras

4.1.1 Massa Específica

Utilizou-se a Equação 1, mencionada na seção 3, para determinar a massa específica da fibra da coroa do abacaxi (FCA), o resultado encontrado foi de 1,14 g/cm³, valor próximo dos resultados encontrados na literatura. A Tabela 2 apresenta uma comparação dos resultados da massa específica da FCA calculada neste trabalho com as pesquisas realizadas por Steffen (2022), Prado (2011) e Ribeiro (2013).

Tabela 2 - Comparativo do resultado da Massa Específica.

Local de extração	Massa específica (g/cm³)	Fonte
Marajó - PA	1,14	ESTE TRABALHO
Feliz - RS	1,13	STEFFEN (2022)
Santo André - SP	1,27	PRADO (2011)
Lelmo Marinho - RN	1,20	RIBEIRO (2013)

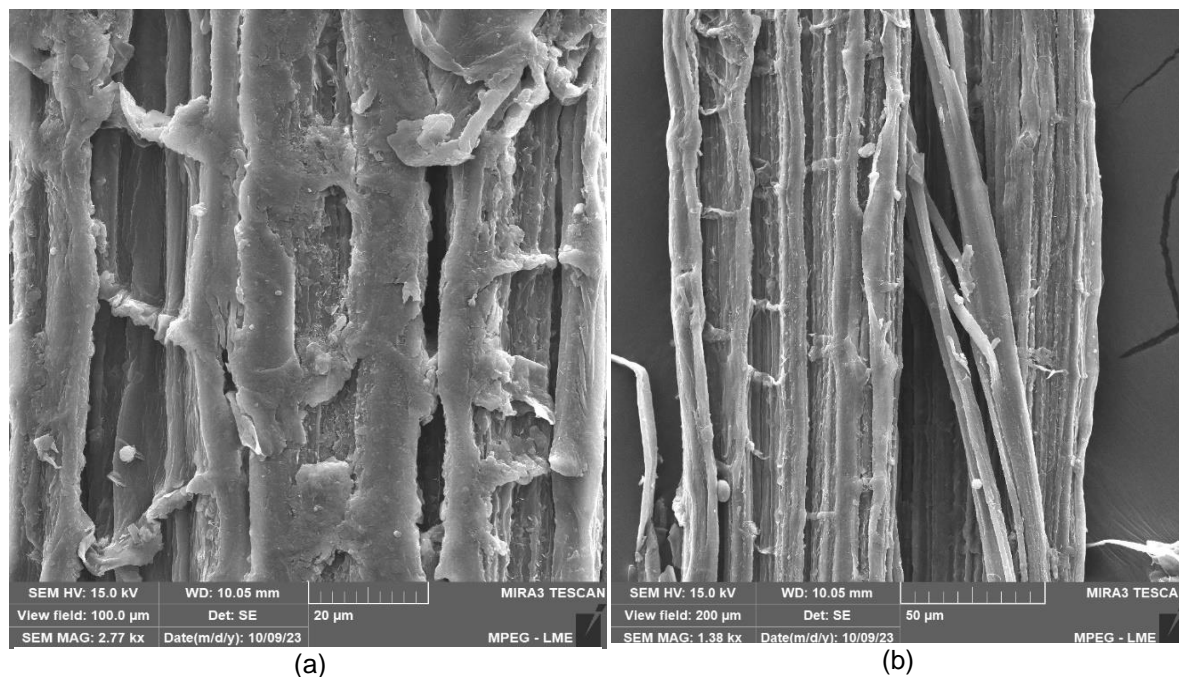
Fonte: Autora, 2024.

Observa-se na Tabela 2, a semelhança entre os dados. Essa concordância entre os valores confirma a coerência do método utilizado para calcular a massa específica da Fibra da Coroa do Abacaxi.

4.1.2 Caracterização Morfológica por MEV

A Figura 22 exibe as micrografias obtidas na análise das fibras da coroa do abacaxi.

Figura 22 - MEV das fibras da coroa do abacaxi: (a) 2.77 kx, (b) 1.38 kx.



Fonte: Autora, 2024.

A análise realizada por MEV da fibra natural (Figura 22) revela uma morfologia não uniforme, composta por um feixe de várias fibras alinhadas longitudinalmente e apresenta resíduos proveniente das folhas e a presença de uma camada espessa assemelhando-se a cera, que é um dos constituintes da folha da coroa do abacaxi. As folhas da coroa do abacaxi são revestidas por um tipo de cera natural a qual tem a função de proteger contra a perda de água e a invasão de patógenos. A presença desses resíduos pode estar relacionada ao processo de extração manual e à falta de tratamento químico (SÁ, 2019; COSTA JÚNIOR *et al.*, 2011; MARCON *et al.* 2009; SANTOS, 2023; LIMA, 2022).

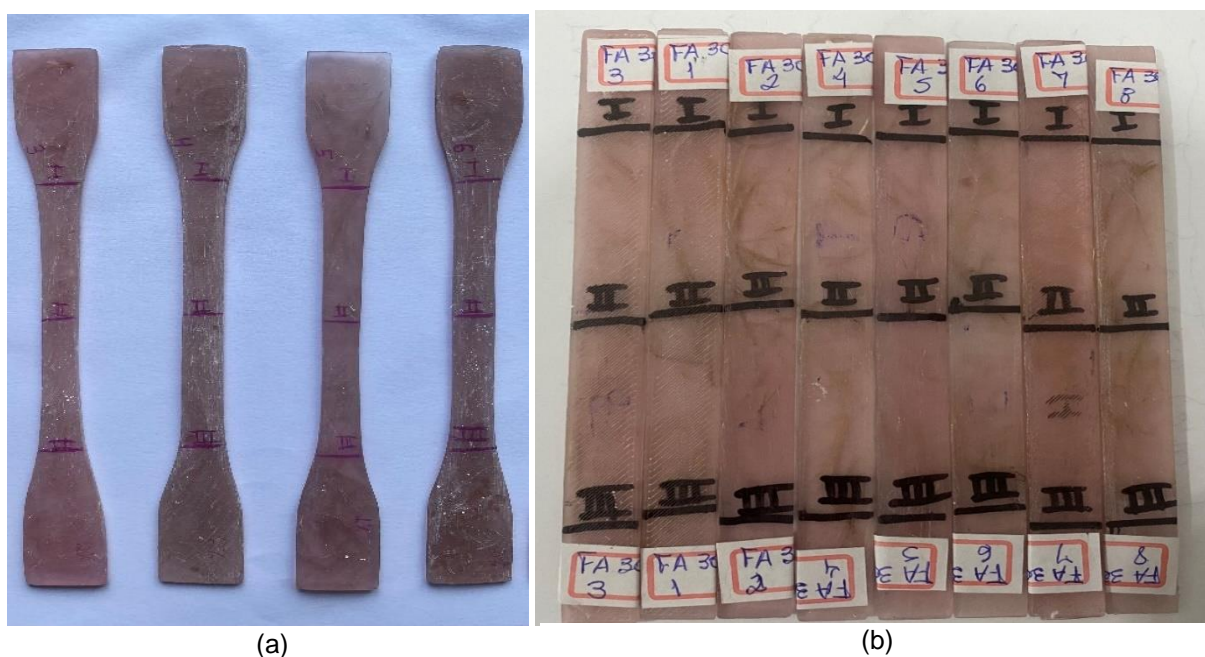
Nota-se a presença de uma textura rugosa e irregulares na superfície, atribuída à matriz de lignina orgânica que envolve a parede celular primária das fibras. Essas irregularidades são definidas como uma morfologia complexa, que proporciona a melhora do intertravamento mecânico na interface entre a fibra e a

matriz, consequentemente, melhorando as propriedades mecânicas dos compósitos (OLIVEIRA *et al.*, 2020; PIRES *et al.*, 2012).

4.2 Viabilidade de Confeção

A viabilidade de produção de um compósito utilizando a fibra da coroa do abacaxi foi examinada com base nas formulações estipuladas. Estas formulações incluíam fibras *in natura* em proporções variando de 0%, 1%, 2% e 3%. O processo de fabricação adotado envolveu a moldagem manual utilizando molde de silicone. A Figura 23 exibe os compósitos obtidos após o processo de cura, evidenciando uma distribuição homogênea e acabamento superficial satisfatório. Resultaram em compósitos com poucas imperfeições, como bolhas e vazios.

Figura 23 - Corpos de prova após o processo de cura. CP's para o ensaio de tração (a) e para o ensaio de flexão (b).



Fonte: Autora, 2024.

4.3 Caracterizações dos Compósitos

4.3.1 Ensaios Físicos

Na Tabela 3, é possível analisar os dados dos resultados da massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA) e absorção de água (AA) da Matriz Polimérica (MP) e dos compósitos saturados com as proporções da Fibra da Coroa do Abacaxi (FCA).

Tabela 3 - Dados resultantes dos ensaios físicos.

Fibra/Proporção	Massa Específica Aparente (g/cm³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção de Água (%)
MP	1,199 ± 0,010	1,174 ± 0,607	0,984 ± 0,519
FCA - 15 mm 1%	1,152 ± 0,010	2,778 ± 0,586	2,394 ± 0,501
FCA - 15 mm 2%	1,167 ± 0,012	2,922 ± 0,631	2,542 ± 0,558
FCA - 15 mm 3%	1,156 ± 0,013	2,954 ± 0,339	2,555 ± 0,297
FCA - 30 mm 1%	1,162 ± 0,006	3,346 ± 0,443	2,885 ± 0,390
FCA - 30 mm 2%	1,174 ± 0,005	3,236 ± 0,271	2,755 ± 0,243
FCA - 30 mm 3%	1,195 ± 0,007	2,875 ± 0,406	2,394 ± 0,350

Fonte: Autora, 2024.

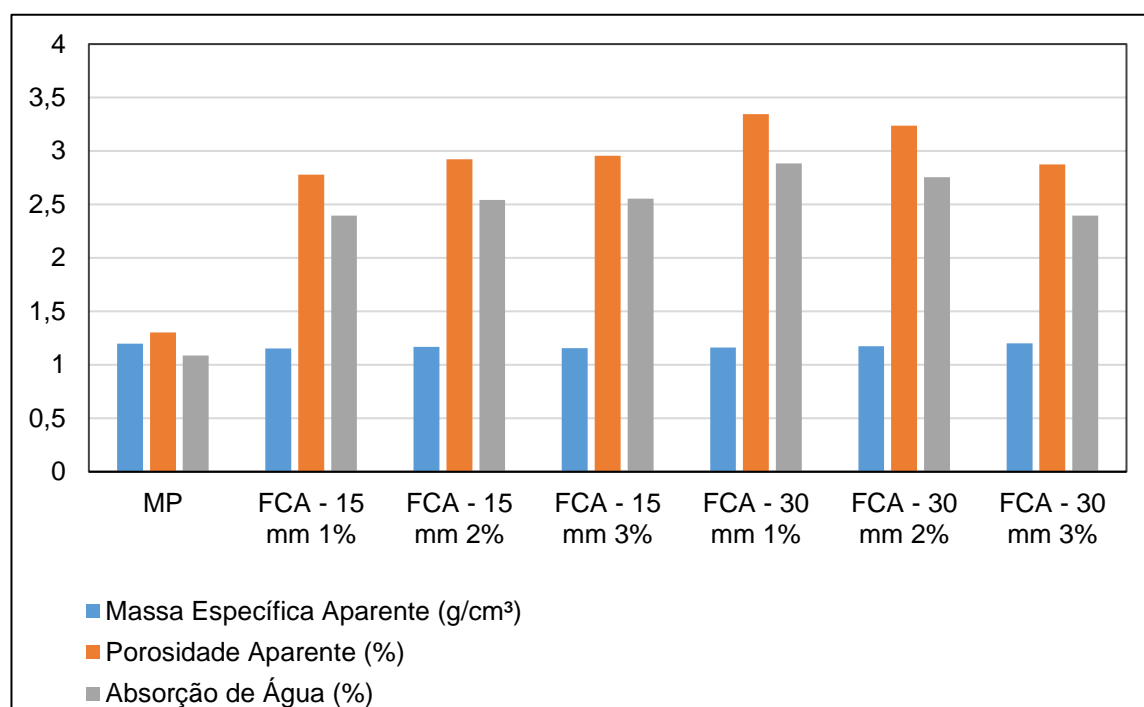
Com base nos dados mostrados na Tabela 3, analisou-se a redução da massa específica aparente nos resultados do ensaio físico entre as amostras dos compósitos reforçados com FCA em comparação com a MP. Segundo Levy Neto e Pardini (2016) a inclusão de fibras naturais de baixa massa específica, pode atuar como carga, aumentando o volume do compósito, resultando consequentemente em uma redução de peso.

No que diz respeito à absorção de água, observa-se que os valores médios da Matriz Polimérica (MP) foram menores do que os dos compósitos. Essa diferença pode estar relacionada às propriedades da resina ortoftálica, que é reconhecida por seu caráter hidrofóbico e impermeável, características típicas de materiais poliméricos (SANCHEZ *et al.*, 2010; MANTOVANI, 2017).

Os resultados da porosidade aparente (PA) ocorreram um aumento dos compósitos quando comparados com a matriz plena. Este efeito pode ser atribuído ao método de fabricação empregado, *hand lay-up*, que envolve a possibilidade de formação de fissuras e espaços vazios devido à aplicação manual da fibra à medida que a matriz é saturada. Embora os compósitos apresentem uma superfície aparentemente adequada, é plausível que possam conter imperfeições estruturais que não são visíveis a olho nu (LEVY NETO E PARDINI, 2016; SANTOS JÚNIOR 2016; CORRÊA *et al.* 2021).

A Figura 24 apresenta um gráfico que compara as propriedades físicas dos compósitos produzidos.

Figura 24 - Gráfico das propriedades físicas dos compósitos produzidos.



Fonte: Autora, 2024.

Através da Figura 24, é possível observar que houve uma pequena variação na massa específica aparente. Os corpos de provas da composição FCA - 15 mm 1% exibiu uma menor massa específica aparente, demonstrando uma redução de 3,84% quando comparado com a MP.

Pode-se afirmar que a adição da fibra da coroa do abacaxi (FCA), independentemente da fração volumétrica, resultou em um aumento da porosidade aparente e da absorção de água dos compósitos analisados. Esse fato pode estar

relacionado à natureza hidrofílica das fibras vegetais. Os grupos de hidroxila altamente polarizados presentes nas fibras naturais conferem-lhes essa natureza hidrofílica, o que afeta a retenção de umidade em seu interior. Além disso, esses grupos hidroxila diminuem a compatibilidade das fibras com a matriz polimérica que possui caráter hidrofóbico, o que resulta na absorção de umidade, a presença de umidade leva à impregnação imperfeita e fraca adesão interfacial fibra-matriz levando ao aparecimento de tensões internas e porosidade (AZEVEDO *et al.*, 2020; JARAMILLO *et al.*, 2016; SANTOS, 2019).

Os resultados do ensaio da massa específica aparente foram submetidos à Análise de Variância para verificar possíveis diferenças entre as médias. A Tabela 4 exibe os resultados do teste ANOVA.

Tabela 4 - Teste ANOVA dos resultados obtidos a partir dos dados da MEA dos compósitos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F-crítico
Entre grupos	0,014	6	0,002	29,487	7,221E-11	2,445
Dentro dos grupos	0,002	28	8,128E-05			
Total	0,016	34				

Fonte: Autora, 2024.

Os valores estatísticos do teste ANOVA apresentados na Tabela 4 apresenta um F-calculado estimado em 29,487 e um F-crítico de 2,445. Dado que o F-calculado é superior ao F-crítico, a hipótese de igualdade entre as médias é rejeitada a um nível de significância de 5%. Esses resultados indicam que as diferentes composições dos compósitos com fibras da coroa do abacaxi têm efeitos distintos na MEA dos corpos de prova ensaiados. Com base nesses resultados, foi conduzido o teste de Tukey com um nível de significância de 5%, visando comparar as médias e determinar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados.

Para realizar o teste de Tukey, primeiramente foi calculado o valor da diferença mínima significativa (d.m.s.) 0,018. Após o cálculo da d.m.s, foi possível

identificar a composição responsável pela diferença nos resultados. Os resultados do teste de Tukey estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultado do teste Tukey dos dados obtidos da MEA dos compósitos.

Composições	MP	FCA - 15 mm 1%	FCA - 15 mm 2%	FCA - 15 mm 3%	FCA - 30 mm 1%	FCA - 30 mm 2%	FCA - 30 mm 3%
MP	0	11,410	9,008	9,465	8,331	6,019	17,980
FCA - 15 mm 1%	11,410	0	2,405	1,948	3,082	5,394	6,567
FCA - 15 mm 2%	9,008	2,405	0	0,456	0,677	2,989	8,972
FCA - 15 mm 3%	9,465	1,948	0,456	0	1,134	3,445	8,515
FCA - 30 mm 1%	8,331	3,082	0,677	1,134	0	2,312	9,649
FCA - 30 mm 2%	6,019	5,394	2,989	3,445	2,312	0	11,96
FCA - 30 mm 3%	17,980	6,567	8,972	8,515	9,649	11,96	0

Fonte: Autora, 2024.

Com base nos resultados do teste Tukey, observou-se que todas as composições apresentam diferenças entre as médias, visto que a diferença entre os grupos é superior ao d.m.s. calculado. As maiores médias foram da composição MP, sugerindo que os corpos de provas dessa composição exibiram uma maior massa específica aparente.

Os resultados do ensaio da porosidade aparente foram submetidos à Análise de variância para verificar possíveis diferenças entre as médias. A Tabela 6 exhibe os resultados do teste ANOVA.

Tabela 6 - Resultado do teste ANOVA dos dados obtidos a partir dos dados da análise da PA dos compósitos poliméricos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F-crítico
Entre grupos	12,624	6	2,104	8,874	1,843E-11	2,445
Dentro dos grupos	6,638	28	0,237			
Total	19,262	34				

Fonte: Autora, 2024.

Os resultados estatísticos do teste ANOVA apresentados na Tabela 6 exibem um F-calculado estimado em 8,874 e um F-crítico de 2,445. O F-calculado é superior ao F-crítico, então pode-se concluir que a hipótese de igualdade entre as médias é rejeitada a um nível de significância de 5%. Esses resultados indicam que as diferentes composições dos compósitos com fibras da coroa do abacaxi têm efeitos distintos no ensaio de porosidade aparente. Com base nesses resultados, foi conduzido o teste de Tukey com um nível de significância de 5%, visando comparar as médias e determinar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados. A Tabela 7 apresenta os resultados do teste Tukey.

Tabela 7 - Resultado do teste Tukey da análise de PA dos compósitos poliméricos.

Composições	MP	FCA - 15 mm 1%	FCA - 15 mm 2%	FCA - 15 mm 3%	FCA - 30 mm 1%	FCA - 30 mm 2%	FCA - 30 mm 3%
MP	0	6,723	7,185	7,549	8,998	8,271	6,570
FCA - 15 mm 1%	6,723	0	0,462	0,826	2,276	1,548	0,152
FCA - 15 mm 2%	7,185	0,462	0	0,364	1,813	1,086	0,615
FCA - 15 mm 3%	7,549	0,826	0,364	0	1,449	0,727	0,980
FCA - 30 mm 1%	8,998	2,276	1,813	1,449	0	0,727	2,429
FCA - 30 mm 2%	8,271	1,548	1,086	0,721	0,727	0	1,701
FCA - 30 mm 3%	6,570	0,152	0,615	0,980	2,429	1,701	0

Fonte: Autora, 2024.

Com base nesses resultados do teste Tukey, constatou-se que há diferenças significativas entre todas as composições, visto que o resultado da diferença entre os grupos é superior ao d.m.s. calculado de 0,977. Pode-se analisar na Tabela 7 que a relação da maior média do teste Tukey foi a composição FCA - 30 mm 1%, apresentando o valor de 8,998, sugerindo que foi a composição com a maior porosidade aparente entre todas as amostras testadas.

Os resultados do ensaio de absorção de água (AA) foram submetidos à análise de variância para verificar possíveis diferenças entre as médias. A Tabela 8 exibe os resultados do teste ANOVA.

Tabela 8 - Resultado do teste ANOVA da análise da AA dos compósitos poliméricos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F-crítico
Entre grupos	9,701	6	1,616	9,031	1,584E-05	2,445
Dentro dos grupos	5,012	28	0,179			
Total	14,714	34				

Fonte: Autora, 2024.

Os valores estatísticos do teste ANOVA apresentados na Tabela 8 incluem um F-calculado estimado em 9,031 e um F-crítico estimado em 2,445. Dado que o F-calculado é superior ao F-crítico, a hipótese de igualdade entre as médias é rejeitada a um nível de significância de 5%. Esses resultados indicam que as diferentes composições dos compósitos têm efeitos distintos no ensaio de absorção de água dos corpos de prova ensaiados.

Com base nos resultados do teste ANOVA, o teste de Tukey demonstrado na Tabela 9, foi conduzido. Para realizar o teste, o valor da diferença mínima significativa, foi calculado, sendo de 0,849. Essa estimativa permitiu identificar a composição responsável pela diferença nos resultados com um nível de significância de 5%, com o intuito de comparar as médias e determinar quais composições são responsáveis pelas diferenças observadas nos resultados.

Tabela 9 - Resultado do teste Tukey da análise de AA dos compósitos poliméricos.

Composições	MP	FCA - 15 mm 1%	FCA - 15 mm 2%	FCA - 15 mm 3%	FCA - 30 mm 1%	FCA - 30 mm 2%	FCA - 30 mm 3%
MP	0	6,945	7,316	7,687	9,070	8,234	6,255
FCA - 15 mm 1%	6,945	0	0,370	0,741	2,125	1,289	0,690
FCA - 15 mm 2%	7,316	0,370	0	0,370	1,754	0,918	1,061
FCA - 15 mm 3%	7,687	0,741	0,370	0	1,383	0,547	1,432
FCA - 30 mm 1%	9,070	2,125	1,754	1,383	0	0,836	2,815
FCA - 30 mm 2%	8,234	1,289	0,918	0,547	0,836	0	1,979
FCA - 30 mm 3%	6,255	0,690	1,061	1,432	2,815	1,979	0

Fonte: Autora, 2024.

Analisando a Tabela 9, observou-se que todas as composições mostram diferenças significativas entre si. Conclui-se que a composição que mais ocasiona as diferenças é a MP, visto que a diferença entre os grupos é superior ao d.m.s. calculado de 0,849.

A maior média do teste Tukey foi a da composição FCA - 30 mm 1%, apresentando o valor de 9,070, indicando que foi a composição que mais absorveu água entre todas as amostras testadas.

4.3.2 Ensaio Mecânico de Tração

Através dos resultados obtidos no ensaio de tração conforme mostra na Tabela 10, realizou-se uma análise do Limite de Resistência à Tração (LRT), do alongamento e do Módulo de Elasticidade (ME) dos compósitos produzidos.

Tabela 10 - Dados resultantes do ensaio de tração.

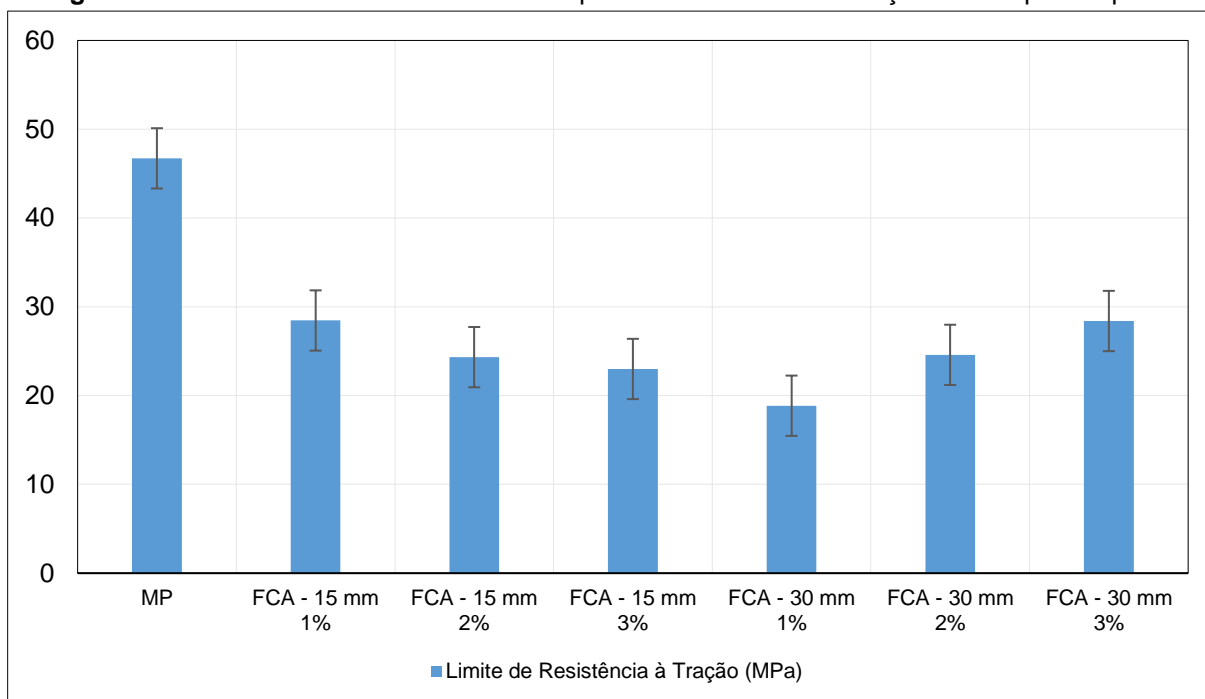
Fibra/Proporção	Limite de Resistência à Tração (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
MP	46,72 ± 2,05	8,30 ± 1,38	0,53 ± 0,06
FCA - 15 mm 1%	28,46 ± 3,29	6,06 ± 0,65	0,36 ± 0,05
FCA - 15 mm 2%	24,33 ± 3,09	5,2 ± 1,32	0,34 ± 0,13
FCA - 15 mm 3%	23,00 ± 3,38	5,79 ± 1,16	0,31 ± 0,08
FCA - 30 mm 1%	18,86 ± 3,59	5,26 ± 1,48	0,25 ± 0,07
FCA - 30 mm 2%	24,59 ± 2,16	4,77 ± 0,69	0,43 ± 0,11
FCA - 30 mm 3%	28,40 ± 2,79	8,38 ± 1,49	0,24 ± 0,08

Fonte: Autora, 2024.

Os dados apresentados na Tabela 10, observa-se que todas as composições contendo fibras da coroa do abacaxi demonstraram uma resistência à tração inferior à da matriz plena. A composição FCA - 30 mm 1% foi 59,63% inferior ao valor da matriz polimérica na análise do LRT. De acordo com a pesquisa de Lopes (2017), os resultados inferiores das composições com FCA em comparação com a MP podem estar relacionados a uma baixa adesão das fibras à resina, pois a estrutura hidrofílica das fibras vegetais não é quimicamente compatível com a matriz, que possui caráter hidrofóbico.

A Figura 25 exibe os resultados do ensaio de resistência à tração dos compósitos coma fibra da coroa do abacaxi, em relação ao compósito de matriz plena.

Figura 25 - Gráfico dos resultados de desempenho da resistência à tração dos corpos de prova.



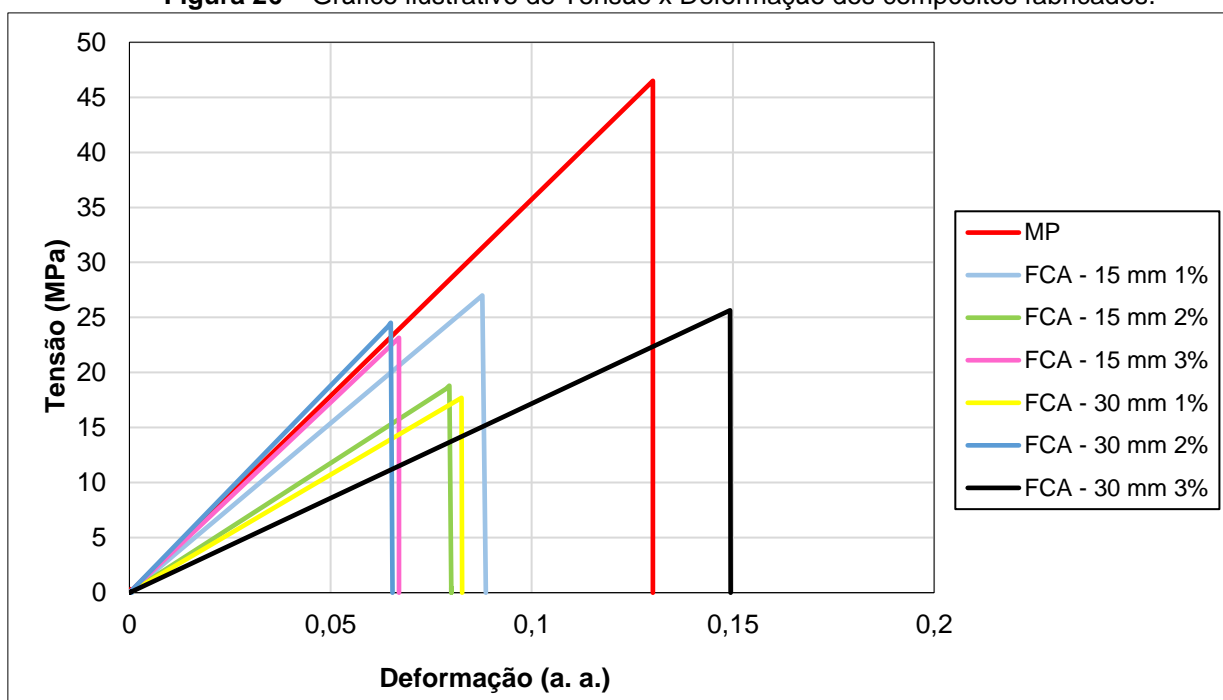
Fonte: Autora, 2024.

Observa-se na Figura 25 que a composição FCA - 15 mm 1% e FCA - 30 mm 3% obtiveram melhor desempenho mecânico quando comparados com os outros compósitos fabricados de outras proporções, alcançando valores de 28,46 MPa e 28,40 MPa, respectivamente. Essas composições foram as que mais se aproximaram dos resultados da MP.

Destaca-se que a composição mais sustentável foi a FCA - 30 mm 3%, devido à utilização mais fibras da coroa do abacaxi, com comprimento maior, na produção do compósito. A composição contribuiu para um aproveitamento maior das fibras da coroa do abacaxi, resultando em uma redução do impacto ambiental associado a este resíduo.

De acordo com os estudos de Tonoli (2009) e Callister (2020), o resultado da composição FCA - 15 mm 1% pode estar relacionado ao fato das fibras curtas permitirem um reforço mais efetivo dentro da matriz, diminuindo a propagação de fissuras, o que pode ter contribuído para um melhor desempenho mecânico dos compósitos. A Figura 26 mostra o gráfico ilustrativo relacionando Tensão (MPa) e a Deformação (a. a.) dos compósitos com a FCA comparados à MP.

Figura 26 – Gráfico ilustrativo de Tensão x Deformação dos compósitos fabricados.

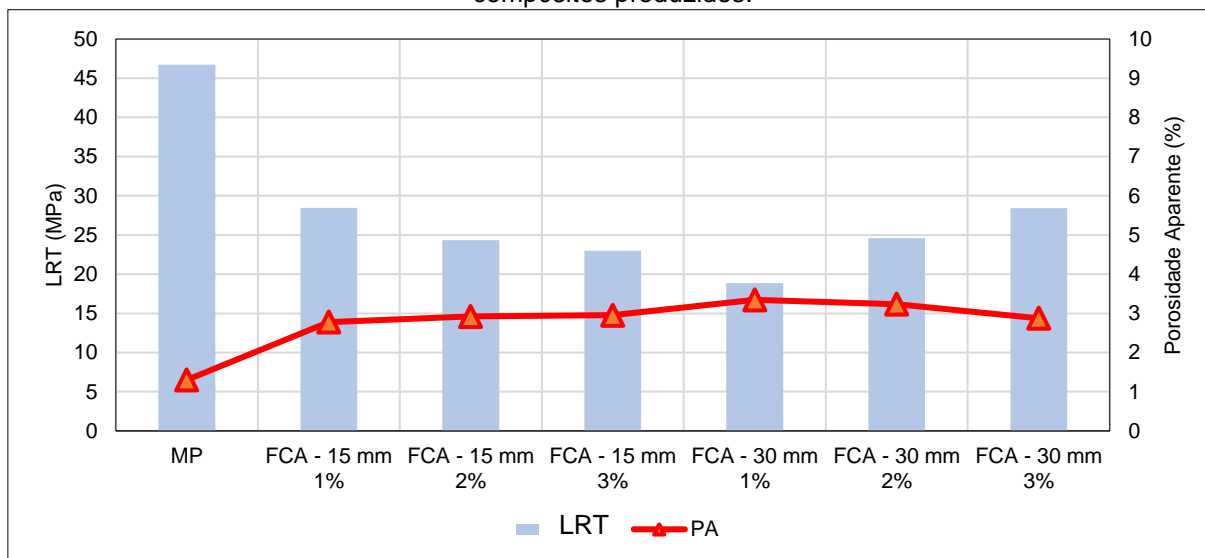


Fonte: Autora, 2024.

Ao analisar o gráfico da Figura 26, é possível notar um padrão de comportamento linear nas curvas durante o regime elástico, que persiste até atingir a tensão máxima, seguida por uma ruptura brusca. Este fato evidencia um comportamento frágil do material ensaiado. Destaca-se que os corpos de prova na composição FCA - 15 mm 1% e FCA - 30 mm 3% foram as composições que mais se aproximaram da matriz plena.

Com base nas pesquisas de Melo (2022) e Costa (2016), os resultados do ensaio de tração indicam que os compósitos com FCA atuaram como carga de enchimento na matriz polimérica e não como reforço, pois os resultados foram inferiores da MP. A dificuldade da compactação e homogeneização na interface matriz/reforço, juntamente com o aumento da porosidade aparente, pode explicar a falha do compósito com FCA na resistência à tração. A Figura 27 exibe um gráfico ilustrativo relaciona o limite de resistência à tração com a porosidade aparente.

Figura 27 - Gráfico do limite de resistência à tração em relação com a porosidade aparente dos compósitos produzidos.



Fonte: Autora, 2024.

Conforme ilustrado na Figura 27, os compósitos FCA - 30 mm 1%, apresentaram menor resistência à tração e maior porosidade aparente quando comparados com os demais. Importante ressaltar que a resistência dos compósitos tende a diminuir à medida que o volume de vazios aumenta e quando expostos a condições ambientais, como umidade do ar, podem sofrer impactos em suas propriedades físicas e mecânicas (COSTA *et al.*, 2001; ALVES, 2021; MANCUZO; OGATA, 2019).

A composição FCA - 15 mm 1% apresentou menor Porosidade Aparente (PA) e um Limite de Resistência à Tração (LRT) mais elevado em comparação com os outros compósitos confeccionados contendo fibras da coroa do abacaxi. No entanto, esta composição não alcançou desempenho superior à Matriz Polimérica (MP), que obteve um limite de resistência superior e uma menor porosidade aparente em comparação com os compósitos contendo FCA.

Os resultados do ensaio de limite de resistência a tração foram submetidos à Análise de variância para verificar possíveis diferenças entre as médias. A Tabela 11 exhibe os resultados do teste ANOVA.

Tabela 11 - Resultado do teste ANOVA da análise do ensaio de LRT dos compósitos poliméricos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F-crítico
Entre grupos	3270,797	6	545,132	62,527	6,24E-17	2,380
Dentro dos grupos	296,419	34	8,718			
Total	3567,217	40				

Fonte: Autora, 2024.

Os valores estatísticos da ANOVA apresentados na Tabela 11 incluem um F-calculado estimado em 62,527 e um F-crítico estimado em 2,380. Dado que o F-calculado é superior ao F-crítico, a hipótese de igualdade entre as médias é rejeitada a um nível de significância de 5%. Esses resultados indicam que as diferentes composições dos compósitos com fibras da coroa do abacaxi têm efeitos distintos no ensaio de resistência a tração dos corpos de prova ensaiados.

Com base nos resultados do teste ANOVA, o teste Tukey foi conduzido demonstrado na Tabela 12. Para realizar o teste, inicialmente foi calculado o valor da diferença mínima significativa sendo de 6,498. Essa estimativa permitiu identificar a composição responsável pela diferença nos resultados com um nível de significância de 5%, com o intuito de comparar as médias e determinar quais composições são responsáveis pelas diferenças observadas nos resultados.

Tabela 12 - Resultado do teste Tukey da análise do LRT dos compósitos confeccionados.

Composições	MP	FCA - 15 mm 1%	FCA - 15 mm 2%	FCA - 15 mm 3%	FCA - 30 mm 1%	FCA - 30 mm 2%	FCA - 30 mm 3%
MP	0	14,94	20,06	21,25	23,98	16,91	14,99
FCA - 15 mm 1%	14,94	0	3,372	4,462	7,591	2,762	0,043
FCA - 15 mm 2%	20,06	3,372	0	1,194	4,713	0,194	3,325
FCA - 15 mm 3%	21,25	4,462	1,194	0	3,565	1,213	4,415
FCA - 30 mm 1%	23,98	7,591	4,713	3,565	0	4,25	7,545
FCA - 30 mm 2%	16,91	2,762	0,194	1,213	4,25	0	2,72
FCA - 30 mm 3%	14,99	0,043	3,325	4,415	7,545	2,72	0

Fonte: Autora, 2024.

Analisando a Tabela 12, observou-se que a composição MP é significativamente diferente de todas as composições reforçadas com a fibra da coroa do abacaxi. Além disso, a composição FCA - 30 mm 1% é significativamente diferente das composições de FCA - 15 mm 1% e FCA - 30 mm 3%. Conclui-se que a composição que mais ocasiona as diferenças é a MP, visto que em todas as comparações dessa composição a diferença entre os grupos é superior ao d.m.s. calculado de 6,498.

A maior média do teste Tukey foi a da composição FA - 30 mm 1%, apresentando o valor de 9,070, sugerindo que foi a composição que mais absorveu água entre todas as amostras testadas.

A composição 15 mm 1% e 30 mm 3% demonstraram a maior semelhança com a composição de referência MP no ensaio de tração, apresentando médias de tração mais próximas de 0 em comparação com as outras composições exibidas na Tabela 12. Sugerindo que a composição 15 mm 1% e 30 mm 3% exibem um desempenho à resistência a tração mais próximo ao da composição de referência MP em termos de resistência à tração.

Os resultados do módulo de elasticidade obtidos através do ensaio de tração foram submetidos à análise de variância para verificar possíveis diferenças entre as médias. A Tabela 13 exibe os resultados do teste ANOVA.

Tabela 13 - Resultado do teste ANOVA da análise do módulo de elasticidade obtidos através do ensaio de tração dos compósitos poliméricos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F-crítico
Entre grupos	0,394	6	0,065	8,823	7,97E-06	2,380
Dentro dos grupos	0,253	34	0,007			
Total	0,648	40				

Fonte: Autora, 2024.

Os valores estatísticos da ANOVA exibidos na Tabela 13 incluem um F-calculado em 8,823 e um F-crítico estimado em 2,380. Dado que o F-calculado é superior ao F-crítico, a hipótese de igualdade entre as médias é rejeitada a um nível de significância de 5%. Esses resultados indicam que as diferentes composições dos compósitos com fibras da coroa do abacaxi têm efeitos distintos no módulo de elasticidade dos corpos de prova analisados no ensaio de tração.

Com base nesses resultados, o teste Tukey demonstrado na Tabela 14 foi conduzido. Para realizar o teste, inicialmente foi calculado o valor da diferença mínima significativa sendo de 0,161. Essa estimativa permitiu identificar a composição responsável pela diferença nos resultados. O nível de significância foi de 5%, com o intuito de comparar as médias e determinar quais composições são responsáveis pelas diferenças observadas nos resultados.

Tabela 14 - Teste Tukey dos dados obtidos a partir do módulo de elasticidade no ensaio de tração.

Composições	MP	FCA - 15 mm 1%	FCA - 15 mm 2%	FCA - 15 mm 3%	FCA - 30 mm 1%	FCA - 30 mm 2%	FCA - 30 mm 3%
MP	0	4,830	6,020	6,761	8,354	2,576	8,012
FCA - 15 mm 1%	4,830	0	0,661	1,338	3,001	1,813	2,942
FCA - 15 mm 2%	6,020	0,661	0	0,741	2,570	2,558	2,517
FCA - 15 mm 3%	6,761	1,338	0,741	0	1,858	3,190	1,840
FCA - 30 mm 1%	8,354	3,001	2,570	1,858	0	4,699	0,071
FCA - 30 mm 2%	2,576	1,813	2,558	3,190	4,699	0	4,586
FCA - 30 mm 3%	8,012	2,942	2,517	1,840	0,071	4,586	0

Fonte: Autora, 2024.

Ao observar o resultado do teste de TUKEY na Tabela 14, é possível identificar o nível onde estas diferenças estão ocorrendo, constatou-se que em todas as composições apresentam diferenças entre si. Todas as comparações de todas as composições a diferença entre os grupos são superiores ao d.m.s. calculado de 0,161.

Na Tabela 15, é realizada uma análise comparativa do limite de resistência à tração da composição FCA - 30 mm 3%, confrontando-a com dados provenientes de pesquisas de outras literaturas que abordam compósitos reforçados com fibras naturais.

Tabela 15 - Comparativo do resultado do ensaio de tração da composição FCA - 30 mm 3% com outras pesquisas encontradas na literatura.

Resultados de Referência	Limite de Resistência à Tração (MPa)	Fonte
FCA - 30 mm 3%	28,40 ± 2,79	ESTE TRABALHO
20% de Fibras de Sisal	19,60 ± 5,20	(SIMONASSI <i>et al.</i> 2017)
6,7% de Fibras de Juta	17,59 ± 4,69	(NASCIMENTO <i>et al.</i> , 2019)
5% de Fibras de Sisal	15,85 ± 2,12	(BARBOSA <i>et al.</i> , 2020)
5% de Fibras de Juta e 20% de Cinzas	23,58 ± 1,96	(COSTA, 2016)
10% de Fibras de Ráfia	8,46 ± 1,18	(OLIVEIRA FILHO <i>et al.</i> , 2020)

Fonte: Autora, 2024.

Observando a Tabela 15 é notável que, em todas as composições expostas, os compósitos FCA - 30 mm 3% demonstraram o limite de resistência à tração superior em comparação com os compósitos provenientes de outras fontes literárias.

A Tabela 16 mostra uma comparação do Limite de Resistência à Tração dos compósitos com 3% de Fibras da Coroa do Abacaxi (FCA) em relação aos polímeros comumente utilizados na indústria, como o policloreto de vinila (PVC) e o polietileno de baixa densidade (PEBD).

Tabela 16 - Comparação do LRT da composição FCA - 30 mm 3% com materiais poliméricos aplicado na indústria.

Resultados de Referência	Limite de Resistência à Tração (MPa)	Fonte
FCA - 30 mm 3%	28,40	ESTE TRABALHO
Policloreto de Vinila (PVC)	25,60	PENNAFORT JUNIOR <i>et al.</i> , 2013
Polietileno de baixa densidade (PEBD)	2,84	MARIANO <i>et al.</i> , 2022

Fonte: Autora, 2024.

O compósito polimérico com Fibra da Coroa do Abacaxi apresenta resistência à tração de 28,40 MPa, superando os materiais poliméricos listados na Tabela 16.

Além da sua melhor resistência, no quesito sustentabilidade, apresenta uma série de vantagens em comparação com outros materiais. A FCA é um subproduto da produção de abacaxi, uma cultura amplamente cultivada em todo o mundo, o que a torna um recurso renovável, que pode ser replantado e colhido sem esgotar os recursos naturais. Além disso, possui baixo impacto ambiental, demandando menos energia e recursos para sua produção. É biodegradável e pode se decompor naturalmente no ambiente, reduzindo a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários ou incineração (NEGRÃO *et al.*, 2020; PENNAFORT JUNIOR *et al.*, 2013; MARIANO *et al.*, 2022).

4.3.3 Ensaio Mecânico de Flexão

Através dos resultados obtidos no ensaio de flexão conforme mostra na Tabela 17, realizou-se uma análise do Limite de Resistência à Flexão (LRF), do alongamento e do Módulo de Elasticidade (ME) dos compósitos produzidos.

Tabela 17 - Dados resultantes do ensaio de flexão.

Fibra/Proporção	Limite de Resistência à Flexão (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
MP	53,35 ± 3,06	8,67 ± 1,02	0,29 ± 0,01
FCA - 15 mm 1%	40,30 ± 1,77	6,38 ± 0,43	0,28 ± 0,03
FCA - 15 mm 2%	31,29 ± 2,59	6,87 ± 2,32	0,25 ± 0,06
FCA - 15 mm 3%	39,90 ± 2,46	7,14 ± 1,28	0,28 ± 0,03
FCA - 30 mm 1%	30,42 ± 2,86	6,51 ± 1,73	0,24 ± 0,06
FCA - 30 mm 2%	31,05 ± 3,89	7,50 ± 0,98	0,23 ± 0,03
FCA - 30 mm 3%	39,67 ± 2,65	10,88 ± 2,24	0,19 ± 0,03

Fonte: Autora, 2024.

O ensaio de flexão desempenha um papel importante nos estudos de caracterização de materiais, explorando propriedades mecânicas como o limite de resistência à flexão e o módulo de elasticidade. Essa abordagem possibilita a análise do comportamento do material quando submetido à flexão em três pontos (ANDRADE, 2021; CASTRO, 2020).

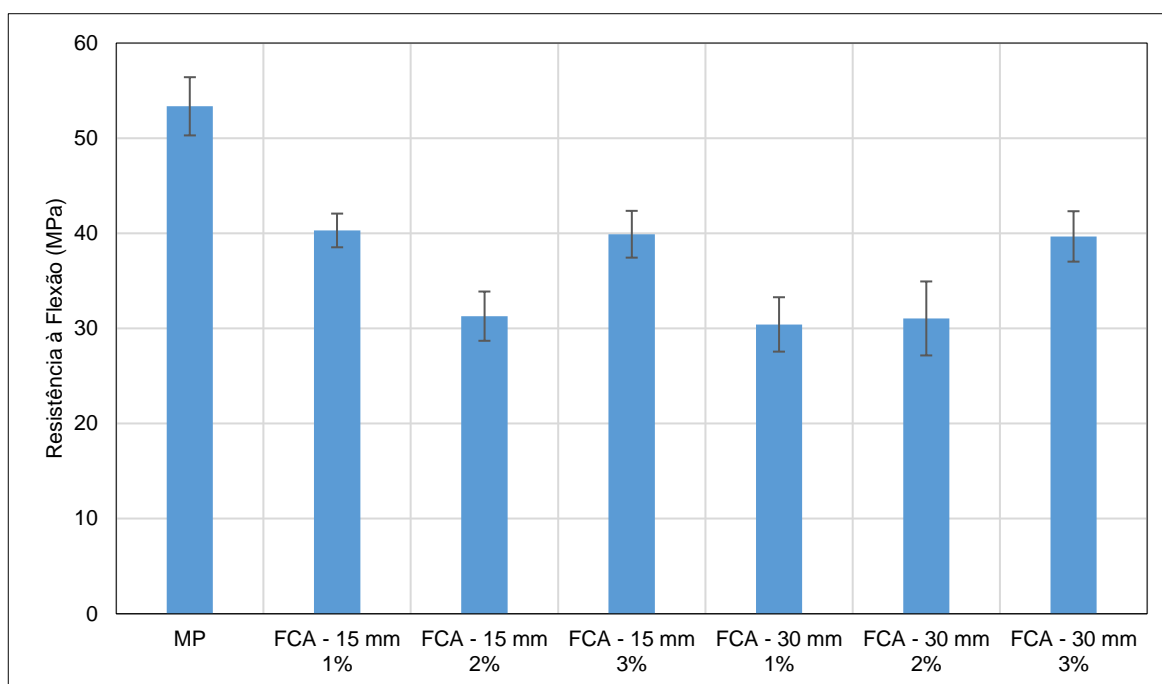
Ao analisar a Tabela 17, é evidente que os compósitos com fibra da coroa do abacaxi que demonstraram maior resistência à flexão foram as composições: FCA - 15 mm 1% e FCA - 30 mm 3%, atingindo valores de 40,30 MPa e 39,67 MPa, respectivamente. A composição que apresentou o melhor desempenho sustentável foi a FCA - 30 mm 3%, devido à utilização de uma quantidade maior de fibra da coroa do abacaxi, com comprimento mais longo, na fabricação do compósito. Essa composição não apenas contribuiu para a resistência do material, mas também favoreceu o aproveitamento de mais resíduos, auxiliando na redução do impacto ambiental causado por eles.

O resultado da composição de FCA - 15 mm 1% pode ser justificado com base nos estudos de Silva *et al.* (2014) e Isaia (2007), que destacam a influência do comprimento da fibra na resistência do compósito. Essas pesquisas enfatizam que os mecanismos de transferência de tensão em um compósito são sensíveis ao comprimento "crítico" das fibras, representando o menor comprimento necessário para atingir a tensão máxima.

O aumento mais expressivo do módulo de elasticidade foi registrado na composição FCA - 15 mm 1%, evidenciando o aumento de 20% quando comparada com a matriz plena. Ao contrário das outras composições, pois é possível notar um decaimento do módulo de elasticidade. O módulo de elasticidade indica a resistência do material diante da deformação, fornecendo informações sobre sua rigidez (RIBEIRO, 2022).

A Figura 28 exibe um gráfico ilustrando os resultados do ensaio do limite de resistência à flexão dos compósitos com as fibras da coroa do abacaxi em relação ao compósito de matriz plena.

Figura 28 - Gráfico dos resultados do desempenho da resistência à flexão dos corpos de prova.

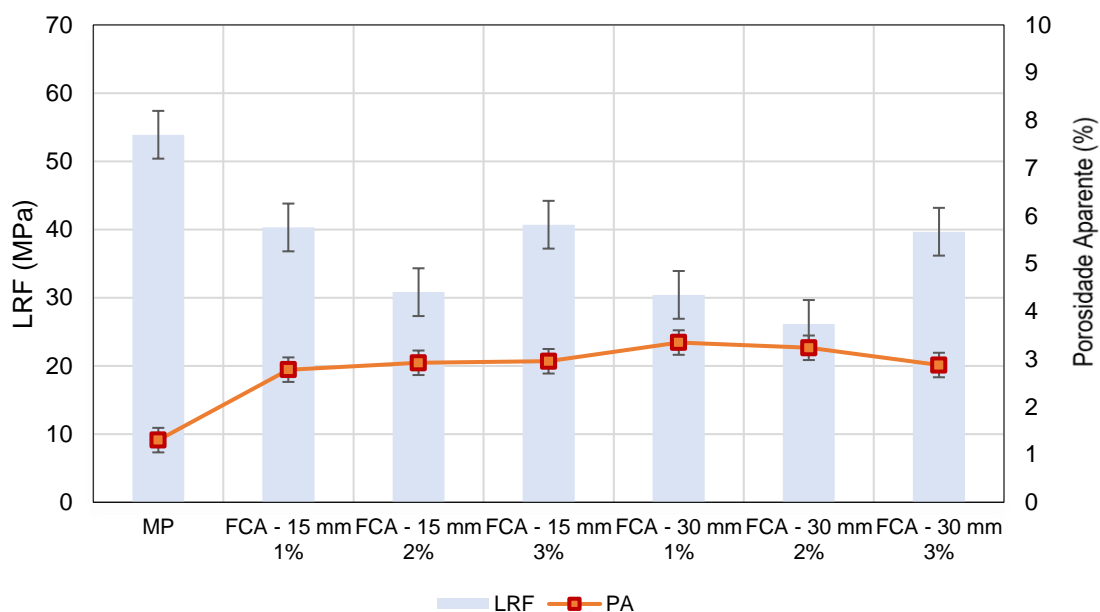


Fonte: Autora, 2024.

Ao observar os dados da Figura 28, fica evidente que todos os compósitos apresentaram valores inferiores de limite de resistência à flexão quando comparados à MP. Diversos fatores podem ter desencadeado esse resultado, como a formação de poros durante o processo de fabricação, a baixa molhabilidade e a presença de determinados compostos orgânicos, como cera e pectina, na superfície dessas fibras, que podem ter criado uma barreira, comprometendo a eficácia da adesão interfacial entre a fibra e a matriz polimérica. A natureza hidrofílica das fibras também pode ter influenciado a má interação com a matriz hidrofóbica, consequentemente, a resistência dos compósitos confeccionados foi prejudicada (SOUZA 2016; PEDOTE, 2020; PRAKASH *et al.*, 2021).

Com base nos dados fornecidos na Figura 28 e na Tabela 8, é evidente que todas as formulações contendo fibras da coroa do abacaxi exibiram uma resistência à flexão inferior à matriz plena. A composição FCA - 30 mm 1% registrou a menor resistência à flexão, apresentando uma redução de 51,48% em comparação com a matriz plena.

A Figura 29 exibe o gráfico que exibe a correlação entre o limite de resistência à flexão com a porosidade aparente.

Figura 29 - Gráfico da relação entre o limite de resistência à flexão e a porosidade aparente.

Fonte: Autora, 2024.

O gráfico da Figura 29 apresenta a relação entre a Porosidade Aparente e o Limite de Resistência à Flexão dos compósitos. É possível notar que a inserção das fibras influenciou na diminuição da resistência à flexão e no aumento da porosidade aparente. A Matriz Polimérica obteve menor porosidade aparente e maior resistência.

Os resultados do ensaio de flexão foram submetidos à análise de variância (ANOVA). A Tabela 18 apresenta os resultados do teste ANOVA.

Tabela 18 - Resultado do teste ANOVA da análise de LRF dos compósitos poliméricos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F-crítico
Entre grupos	1938,551	6	323,091	41,97	3,69226E-12	2,474
Dentro dos grupos	200,125	26	7,697			
Total	2138,676	32				

Fonte: Autora, 2024.

Os valores estatísticos da ANOVA apresentados na Tabela 18 incluem um F-calculado estimado em 41,97 e um F-crítico de 2,474. Dado que o F-calculado é superior ao F-crítico, a hipótese de igualdade entre as médias é rejeitada a um nível de significância de 5%. Esses resultados indicam que as diferentes composições dos compósitos com fibras da coroa do abacaxi têm efeitos com diferenças significativas no ensaio de limite de resistência a flexão dos corpos de prova ensaiados.

Com base nos resultados do teste ANOVA, o teste Tukey, demonstrado na Tabela 19, foi conduzido. Para realizar o teste, inicialmente foi calculado o valor da diferença mínima significativa sendo de 5,795. Essa estimativa permitiu identificar a composição responsável pela diferença nos resultados com um nível de significância de 5%, com o intuito de comparar as médias e determinar quais composições são responsáveis pelas diferenças observadas nos resultados.

Tabela 19 - Resultado do teste Tukey dos resultados obtidos do ensaio de LRF.

Composições	MP	FCA - 15 mm 1%	FCA - 15 mm 2%	FCA - 15 mm 3%	FCA - 30 mm 1%	FCA - 30 mm 2%	FCA - 30 mm 3%
MP	0	10,52	17,78	10,84	18,48	16,95	10,40
FCA - 15 mm 1%	10,52	0	7,255	0,317	7,963	7,026	0,475
FCA - 15 mm 2%	17,78	7,255	0	6,938	0,707	0,185	6,365
FCA - 15 mm 3%	10,84	0,317	6,938	0	7,645	6,726	0,176
FCA - 30 mm 1%	18,48	7,963	0,707	7,645	0	0,481	7,032
FCA - 30 mm 2%	16,95	7,026	0,185	6,726	0,481	0	6,214
FCA - 30 mm 3%	10,40	0,475	6,365	0,176	7,032	6,214	0

Fonte: Autora, 2024.

Ao observar o resultado do teste de Tukey apresentados na Tabela 19, é possível identificar o nível onde estas diferenças estão ocorrendo, constatou-se que todas as composições apresentam diferenças entre si. Contudo, é possível afirmar

que a composição que mais ocasiona diferença é MP, visto que em todas as comparações dessa composição a diferença entre os grupos é superior ao d.m.s. calculado de 6,498.

A composição 15 mm 1% e 30 mm 3% demonstraram a maior semelhança com a composição de referência MP no ensaio de flexão, apresentando médias mais próximas de 1 em comparação com todas as outras composições exibidas na Tabela 19.

Os resultados do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados no teste de flexão foram submetidos à análise de variância. A Tabela 20 apresenta os resultados do teste ANOVA.

Tabela 20 - Análise de variância do módulo de elasticidade obtidos através do ensaio de flexão dos compósitos poliméricos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F-crítico
Entre grupos	0,057	6	0,009	5,557	0,0008	2,474
Dentro dos grupos	0,044	26	0,001			
Total	0,102	32				

Fonte: Autora, 2024.

Os valores estatísticos da ANOVA apresentados na Tabela 20 incluem um F-calculado em 5,557 e um F-crítico de 2,474. Dado que o F-calculado é superior ao F-crítico, a hipótese de igualdade entre as médias é rejeitada a um nível de significância de 5%. Esses resultados sugerem que as diferentes composições dos compósitos com fibras da coroa do abacaxi têm efeitos distintos na propriedade do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados no teste de flexão.

Com base nos resultados do teste ANOVA, o teste Tukey, demonstrado na Tabela 21, foi conduzido. Para realizar o teste Tukey, inicialmente foi calculado o valor da diferença mínima significativa sendo de 0,093. Essa estimativa permitiu identificar a composição responsável pela diferença nos resultados com um nível de significância de 5%, com o intuito de comparar as médias e determinar quais composições são responsáveis pelas diferenças observadas nos resultados.

Tabela 21 – Teste Tukey do módulo de elasticidade obtidos através do ensaio de flexão dos compósitos poliméricos.

Composições	MP	FCA - 15 mm 1%	FCA - 15 mm 2%	FCA - 15 mm 3%	FCA - 30 mm 1%	FCA - 30 mm 2%	FCA - 30 mm 3%
MP	0	1,941	1,941	0,539	3,883	2,237	4,525
FCA - 15 mm 1%	1,941	0	3,883	1,402	5,824	4,068	6,356
FCA - 15 mm 2%	1,941	3,883	0	2,481	1,941	0,406	2,695
FCA - 15 mm 3%	0,539	1,402	2,481	0	4,422	2,746	5,034
FCA - 30 mm 1%	3,883	5,824	1,941	4,422	0	1,424	0,864
FCA - 30 mm 2%	2,237	4,068	0,406	2,746	1,424	0	2,171
FCA - 30 mm 3%	4,525	6,356	2,695	5,034	0,864	2,171	0

Fonte: Autora, 2024.

Ao observar o resultado do teste de Tukey na Tabela 21, é possível identificar o nível onde estas diferenças estão ocorrendo, constatou-se que em todas as composições apresentam diferenças entre si. As comparações de todas as composições, a diferença entre os grupos é superior ao d.m.s. calculado de 0,093.

A Tabela 22 apresenta uma comparação entre o Limite de Resistência à Flexão da composição FCA - 30 mm 3% com outros compósitos reforçados com fibras naturais, dados obtidos através de trabalhos de outras literaturas.

Tabela 22 - Comparativo do resultado do ensaio de LRF da composição FCA - 30 mm 3% com outras pesquisas encontradas na literatura.

Resultados de Referência	Limite de Resistência à Flexão (MPa)	Fonte
FCA – 30 mm 3%	39,67	ESTE TRABALHO
20% de Fibras de Sisal	13,40	(SIMONASSI <i>et al.</i> 2017)
1% de Fibras de Juta	19,98	(MACIEL <i>et al.</i> , 2018)
20% de Fibras de cana-de-açúcar	2,40	(SILVA <i>et al.</i> , 2018)
5% de Fibras de Juta	11,00	(SANTOS, 2018)

Fonte: Autora, 2024.

É possível observar que em todas as composições exibida na Tabela 22, os resultados de resistência à flexão dos compósitos com 3% de fibras da coroa do abacaxi, no comprimento de 30 mm, foram superiores do que as fibras citadas de outras fontes literárias.

A Tabela 23 destaca uma análise comparativa do limite de resistência à flexão dos compósitos com 3% de Fibras da Coroa do Abacaxi (FCA) em relação aos polímeros comumente utilizados na indústria, como o policloreto de vinila (PVC) e o polietileno de baixa densidade (PEBD).

Tabela 23 - Comparação do LRF do compósito FCA - 30 mm 3% com materiais poliméricos aplicado na indústria.

Resultados de Referência	Limite de Resistência à Flexão (MPa)	Fonte
FCA - 30 mm 3%	40,30	ESTE TRABALHO
Policloreto de Vinila (PVC)	7,78	KRAMEL, 2022
Polietileno de baixa densidade (PEBD)	6,90	TEDESCO, 2021

Fonte: Autora, 2024.

Além da sua notável resistência a flexão, em termos de sustentabilidade, a FCA oferece uma série de benefícios em comparação com outros materiais. A fibra da coroa do abacaxi, sendo um subproduto da produção da fruta, representa uma fonte renovável e sustentável. Essa característica contribui para a redução da dependência de recursos não renováveis e minimiza o impacto ambiental associado à exploração de matérias-primas, além disso, a produção dos compósitos poliméricos com fibra da coroa do abacaxi demanda menos energia e recursos comparados à fabricação de PVC e PEBD (NEGRÃO *et al.*, 2020; PENNAFORT JUNIOR *et al.*, 2013; MARIANO *et al.*, 2022).

5 CONCLUSÃO

Os compósitos fabricados nos moldes de silicone, sem compressão, apresentaram homogeneidade e mínimos defeitos superficiais, como bolhas e vazios.

As análises morfológicas realizadas por MEV mostraram a presença de resíduos proveniente das folhas da coroa do abacaxi. A fibra apresentou uma textura rugosa e irregular na superfície; essas irregularidades podem proporcionar a melhora do intertravamento mecânico no compósito.

A inserção da fibra da coroa do abacaxi, reduziu a massa específica aparente dos compósitos nas proporções em massa de 1%, 2% e 3%. A baixa densidade das fibras fez com que elas desempenhassem a função de carga de enchimento, aumentando o volume do compósito. Esse efeito teve impacto direto na densidade, resultando na diminuição do peso total e, conseqüentemente, conferindo aos compósitos a característica de menor Massa Específica Aparente. A baixa Massa Específica Aparente é uma vantagem dos compósitos reforçados com fibras naturais, pois agrega ao material a uma série de benefícios, incluindo redução do peso, melhoria da eficiência energética e facilidade de manuseio.

Constatou-se o aumento da porosidade aparente e da absorção de água nos compósitos fabricados com a FCA. Este efeito pode ser sido causado pelo método de fabricação empregado, *hand lay-up*, que envolve a possibilidade de formação de falhas e espaços vazios devido à aplicação manual da fibra à medida que a matriz é saturada.

Para os ensaios mecânicos de tração e flexão, a porosidade elevada dos compósitos com FCA pode ter sido ocasionada pelo método de fabricação *hand lay-up* causando a má interação entre a matriz e o reforço, levando à redução da resistência à tração e flexão de todos os compósitos com FCA. A composição FCA - 15 mm 1% aproximou-se do resultado da MP nos dois ensaios mecânicos, tanto no ensaio de tração (28,46 MPa) quanto no ensaio de flexão (40,30 MPa), mas não atuou como reforço efetivo, apenas como carga de enchimento, pois não contribuiu para a melhora da resistência mecânica da matriz polimérica.

A composição que apresentou o melhor desempenho sustentável foi a FCA - 30 mm 3%, no ensaio de tração obteve como resultado 28,40 MPa e no ensaio de flexão 39,67 MPa, devido à utilização de uma quantidade maior de fibra da coroa do

abacaxi, com comprimento mais longo, na fabricação do compósito. Essa composição não apenas contribuiu para a resistência do material, mas também favoreceu o aproveitamento de mais resíduos, auxiliando na redução do impacto ambiental causado por eles.

O módulo de elasticidade apresentou resultados inferiores em todas as composições com FCA.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Fabricar compósitos com FCA utilizando diferentes matrizes poliméricas;
- Produzir compósitos com FCA utilizando maiores volumes de fibras com a finalidade de analisar as propriedades físicas e mecânicas;
- Realizar testes de impacto *Charpy* e *Izod* em compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra da coroa do abacaxi;
- Produzir compósitos com fibras da coroa do abacaxi submetidas ao tratamento químico para analisar o desempenho mecânico;
- Realizar análises fractográficas, em amostras ensaiadas mecanicamente, para avaliar os mecanismos de falhas.
- Produzir compósitos com FCA utilizando outras técnicas de processamento, como a moldagem por prensagem, com a finalidade de avaliar as propriedades obtidas.

REFERÊNCIAS

ADEPARÁ, Aycha Nunes (ed.). **Pará lidera a produção nacional de abacaxi e Adepará garante a sanidade do fruto.** 2020. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/22042/para-lidera-a-producao-nacional-de-abacaxi-e-adepara-garante-a-sanidade-do-fruto>. Acesso em: 26 abr. 2023.

ABDUROHMAN, K *et al.* A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW 185/lycal composites. **Journal Of Physics: Conference Series**, [S.L.], v. 1130, p. 012018, nov. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1130/1/012018>.

ALVES, Arthur Felipe Matias. **COMPÓSITO HÍBRIDO PET RECICLADO/REJEITO DE FIBRAS DE ALGODÃO/ARGILA MONTMORILONITA PARA APLICAÇÕES EM TÊXTEIS TÉCNICOS.** 2022. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Faculdade de Engenharia Têxtil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

ALVES, Fillip Cortat. **Influência da porosidade nas propriedades de fluência em compósitos vidro/epóxi processados via RTM.** 2021. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica na Área de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2021.

ARAÚJO, Alamanda *et al.* DURABILIDADE DE SISTEMAS GEOPOLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS POLIMÉRICAS NATURAIS E SINTÉTICAS. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023, João Pessoa - Pb. **ANAIS DO XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS.** [S.L.]: Antac, 2023. p. 1-10.

ARAÚJO, Artemisa de Oliveira; MARTINS, Kássia Policarpo. **OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE FIBRAS DE VIDRO E FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM FOCO NA APLICAÇÃO EM TELHAS POLIMÉRICAS.** 2022. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2022.

ARCON, Juliana S. *et al.* ESTUDO DA MODIFICAÇÃO DA FIBRA PROVENIENTE DA COROA DE ABACAXI PARA A FORMAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS. In: **Anais Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros.** [S.L.]: Foz do Iguaçu, PR, Brasil, out. 2009.

ASHOKKUMAR, Veeramuthu *et al.* Avanços recentes em biomassa lignocelulósica para biocombustíveis e bioprodutos de valor agregado - Uma revisão crítica. **Tecnologia de biorecursos**, v. 126195, 2022.

ASIM, M. *et al.* A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. **International Journal Of Polymer Science**, [S.L.], v. 2015, p. 1-16, 2015. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/950567>.

ASTM D 2734 – **Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2009.
ASTM D 3039 – **American Society for Testing and Materials**. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. Philadelphia, 2017.

ASTM D 570 – **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1998.

ASTM D 638 – 2014, “**Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**”, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.

ASTM D 790 – “**Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**”, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2017.

ASTM D 792 – **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2008.

AYRES, Stefany Doroskevich. **DETERMINAÇÃO DAS ETAPAS DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA UTILIZANDO MODELOS CINÉTICOS EM DIFERENTES FIBRAS VEGETAIS**. 2022. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal da Integração Latino-Americano, Foz do Iguaçu, 2022.

AZEVEDO, Afonso R. *et al.* Development of mortar for laying and coating with pineapple fibers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 187-193, mar. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p187-193>.

BARBOSA, Karla Suellen Lino *et al.* Efeito da adição do resíduo de mármore e granito com fibras de sisal nas propriedades de compósitos poliméricos. **Brazilian Journal Of Development**, [S.I.], v. 6, n. 2, p. 7653-7667, 17 fev. 2020.

BARBOSA, Karla Suellen Lino. **INFLUÊNCIA GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS DE REJEITO MINERAL E ADIÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**. 2021. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química., Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

BATISTA, Larissa Anne Pereira dos Santos. **RECICLAGEM DE COMPÓSITOS ESTRUTURAIS DE RESINA EPÓXI E FIBRA DE CARBONO VISANDO APLICAÇÕES NO SETOR AUTOMOTIVO**. 2023. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, 2023.

BRITO, Luiz Matheus Abecassis Ferreira. **Produção e caracterização de biocompósitos poliméricos reforçados com microfibrilas de celulose a partir da folha do abacaxi**. 2022. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

CALLISTER, JR. W.; RETHWISCH, D. *Ciência e tecnologia de materiais: Uma introdução*. 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião Vicente. *Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. 3. ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2013.

CARVALHO, Natália Rodrigues de. **ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DA BIOMASSA E SEUS COMPOSTOS (CELULOSE, HEMICELULOSE E LIGNINA)**. 2022. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Centro de Ciências e Tecnologias Para A Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2022.

CASTRO, Alexandre Mendes *et al.* Influência da temperatura e tempo de cura na transição vítrea da resina epóxi. **Scientia Cum Industria**, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 15-23, 11 mar. 2019.

CASTRO, Rafael Gomes de. **INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE FIBRA EM COMPÓSITO REFORÇADO COM PIAÇAVA**. 2020. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

CAVALHER, Natália Hegele. **DESTINAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROCESSO RESIDUÁRIOS CONSTITUÍDOS DE MATERIAIS COMPÓSITOS**. 2019. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

CHAWLA, Krishan K.. **Composite Materials: Science and Engineering**. 3. ed. Birmingham: Springer, 2012. 542 p.

CHUVES, Yuri Pereira. **Efeito da fração do self-healing no comportamento mecânico em compósitos estruturais: abordagem estatística**. 2023. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2023.

COLARES NETO, Jair Rogério. **DESENVOLVIMENTO DE FIOS DE MICROFIBRILAS DE CELULOSE COM GOMA GUAR**. 2022. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2022.

CORRÊA, Alessandro de Castro *et al.* Aplicação do TOPSIS na análise do processo de infusão a vácuo para fabricação de compósitos com fios de juta. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, [S.L.], v. 18, p. 1682, 2021. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20211682>.

COSTA JÚNIOR, Davi Silva *et al.* REMOÇÃO DA CERA NATURAL DE HASTES FLORAIS DE HÍBRIDOS DE ABACAXI ORNAMENTAL. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA, 3., 2011, [S.I.]. **Anais da Embrapa**, 2011. p. 79-82.

COSTA, D. S. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais**. 2016. 229f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) - Universidade Federal do Pará. Belém. 2016.

COSTA, Michelle L. *et al.* Resistência ao Cisalhamento Interlaminar de Compósitos com Resina Epóxi com Diferentes Arranjos das Fibras na Presença de Vazios. **Polímeros**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 182-189, 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282001000400008>.

COUTINHO, Luana Venâncio. **Obtenção e caracterização de nanocristais de celulose a partir da coroa do abacaxi**. 2018. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

DECKER, Larissa da Costa. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM RESÍDUO DE ERVA – MATE**. 2020. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2020.

DO, Nga HN *et al.* Aplicações de isolamento térmico e acústico de aerogéis de abacaxi a partir de resíduos de abacaxi. **Química e Física dos Materiais**, v. 242, p. 122267, 2020.

DOMINGUES, Willian de Oliveira. **PRODUÇÃO DO COMPÓSITO DE FIBRA DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS) COM MATRIZ POLIMÉRICA DE ABS**. 2019. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

DULÁTEX. **Acelerador de cobalto**. 2024. Disponível em: <https://www.dulatex.com.br/resinas/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

EBERSBACH, Felipe Gustavo *et al.* ANÁLISE DAS COMPONENTES DA FORÇA DE USINAGEM NO TORNEAMENTO DE COMPÓSITOS AUTOLUBRIFICANTES SINTERIZADOS. In: 10 **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**, 10., 2019, São Carlos, Sp, Brasil. p. 05-07.

EMATER, Rodrigo Reis. **Com apoio da Emater, agricultores de Salvaterra plantam abacaxi em Unidade Integrada**. 2021. Disponível em: <https://www.agenciapara.com.br/noticia/25216/com-apoio-da-emater-agricultores-de-salvaterra-plantam-abacaxi-em-unidade-integrada>. Acesso em: 5 jun. 2023.

G1, Portal. **Cultivo do abacaxi é fonte de renda de mais de 2 mil famílias em cidade do Pará**. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2022/12/11/cultivo-do-abacaxi-e-fonte-de-renda-de-mais-de-2-mil-familias-em-cidade-do-para.ghtml>. Acesso em: 19 mar. 2023.

GERMANO, Beatriz de Paiva. **USO DE RESÍDUOS DE FIBRA DE VIDRO DA INDÚSTRIA EÓLICA NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS MATRIZ POLIÉSTER**. 2022. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

GOMES, Maycon de Almeida. **PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE FOLHAS DE ABACAXIZEIRO (PALF)**. 2015. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais., Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2015.

GONÇALVES, Vanessa Vieira. **SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TENSÃO EM COMPÓSITO UNIDIRECIONAL CARBONO/EPOXI UTILIZANDO ONDAS Lcr**. 2020. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

HASHIM, Mohd Khairul Rabani et al. O efeito da sequência de empilhamento e orientação da camada nas propriedades mecânicas de compósitos laminados híbridos de fibra de folha de abacaxi (Palf)/carbono. **Polímeros**, v. 13, n. 3, pág. 455, 2021.

HAZARIKA, Dipshika *et al.* Exploration of future prospects of Indian pineapple leaf, an agro waste for textile application. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 141, p. 580-586, 10 jan. 2017. Semestral. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.092>.

HERAKOVICH, Carl T.. Mechanics of composites: a historical review. **Mechanics Research Communications**, [S.L.], v. 41, p. 1-20, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechrescom.2012.01.006>.

HOQUE, Mohammad B. et al. Revisão das propriedades mecânicas de compósitos à base de resina epóxi reforçada com fibra de folha de abacaxi (PALF). **Polímero**, v. 14, n. 15, pág. 16-17, 2021.

ISAIA, Geraldo Cechella *et al.* **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. 1712 p.

JARAMILLO, Natalia *et al.* Compuestos de fibra de hoja de piña fabricados mediante moldeo por compresión por capas. **Ingeniería y Competitividad**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 151, 8 jul. 2016. Universidad del Valle. <http://dx.doi.org/10.25100/iyc.v18i2.2163>.

JOSHI, Sarang et al. Review on Mechanical and Thermal Properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) Reinforced Composite. **Journal Of Natural Fibers**, [S.L.], v. 19, n. 15, p. 10157-10178, 29 dez. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2021.1993487>.

KHALID, Muhammad Yasir *et al.* Natural fiber reinforced composites: sustainable materials for emerging applications. **Results In Engineering**, [S.L.], v. 11, p. 100263, set. 2021. Semestral. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100263>.

KIELING, Antonio Claudio *et al.* COMPÓSITOS DE MADEIRA PLÁSTICA: CONSIDERAÇÕES GERAIS. **Scientia Amazonia**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 1-14, mar. 2019.

KRAMEL, Tainá. **AVALIAÇÃO DE ESFORÇOS MECÂNICOS DE COMPRESSÃO E FLEXÃO EM TUBOS DE PVC**. 2022. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2022.

LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Cláudio. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Editora Blucher, 2016.

LIMA, Haianny Beatriz Saraiva. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CHAMAS DE COMPÓSITOS POLIÉSTER ISOFTÁLICO INSATURADO COM RESÍDUO DE LAMA VERMELHA E FIBRA DE BAMBU**. 2022. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2022.

LIMA, José Eduardo Salgueiro *et al.* Estudo preliminar de reforço de material polimérico por meio de fibras de carbono. **Caleidoscópio**, v. 9, n. 1, p. 22-29, 2017.

LOPES, Bruno Leonardy Sousa. **Polímeros reforçados por fibras vegetais uma revisão sobre esses compósitos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2017. 43 p.

LOURENÇO, Lécio Manuel Gonçalves. **Caracterização física e mecânica de compósitos híbridos de matriz polimérica**. 2017. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Conceção e Desenvolvimento de Produto, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2017.

LUZ, Fernanda Santos da *et al.* Critical length and interfacial strength of PALF and coir fiber incorporated in epoxy resin matrix. **Journal Of Materials Research And Technology**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 528-534, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.04.025>.

MACIEL, Cristiane C. *et al.* MOLDAGEM DE COMPÓSITOS DE PEAD RECICLADO COM TECIDO DE FIBRAS DE JUTA E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DE FLEXÃO. **Iberoamericana de Polímeros y Materiales**, [S.l.], v. 19, n. 5, p. 199-206, out. 2018.

MANCUZO, Veronica Liss Carvalho; OGATA, Eric Costa. **ESTUDO DO DESEMPENHO MECÂNICO DE COMPÓSITOS DE CIMENTO-MICROCELULOSE**. 2019. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

MANTOVANI, Dhyemila de Paula. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE HEMP E BIOTRATAMENTO**. 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017.

MARIANO, Tábata Esmeraldo *et al.* POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD): análise das propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do agregado miúdo. **Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar - Issn 2675-6218**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 1-17, 18 mar. 2022. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar. <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v3i3.1271>.

MARINUCCI, Gerson. **Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia**. São Paulo: Artliber, 2011.

MELO, João Baptista da Costa Agra de. **ABSORÇÃO DE ÁGUA EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR FIBRAS DA FOLHA DO ABACAXI: MODELAGEM E SIMULAÇÃO**. 2014. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos, Desenvolvimento e Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

MELO, Kátia Moreira de. **RESÍDUO DE SISAL: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL COMO REFORÇO PARTICULADO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO COM ADIÇÃO DE AGENTE SILANO**. 2022. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

MENDES, Bruno Henrique Alves. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE CAULIM NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADA COM FIBRA DE BAMBU (*Bambusa vulgaris*)**. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

NASCIMENTO, G. M. *et al.* **COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR FIOS ALEATÓRIOS E DESCONTÍNUOS DE JUTA: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA EM TRAÇÃO NA ASTM D638**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA (COBEC), Uberlândia. Uberlândia, 2019. p. 1-7.

NEGRÃO, Ana Gomes *et al.* Material compósito de fibra da folha do abacaxizeiro (*Ananas comosus*) para uso no ambiente construído. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 627-645, jul. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300459>.

NURAZZI, NM *et al.* Propriedades de análise termogravimétrica de compósitos poliméricos de fibra natural celulósica: uma revisão sobre a influência de tratamentos químicos. **Polímeros**, v. 13, n. 16, pág. 2710, 2021.

OLIVEIRA FILHO, Edwillson *et al.* Effect of Chemical Treatment and Length of Raffia Fiber (*Raphia vinifera*) on Mechanical Stiffening of Polyester Composites. **Polymers**, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 2899, 3 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12122899>.

OLIVEIRA NETO, Aroldo Antonio de (org.). **A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras**. Brasil: Conab, 2020.

OLIVEIRA, Fabrício de Almeida. **Processamento e análise mecânica de compósitos laminados metal-fibra submetidos a diferentes tratamentos superficiais das camadas metálicas**. 2022. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

OLIVEIRA, Juliana Bovi de. **Obtenção e caracterização de compósitos de epóxi/microfibras elastoméricas/fibras de carbono para aplicações aeronáuticas**. 2020. 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica na Área de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2020.

OLIVEIRA, Mariana Lima. **OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER, RESÍDUOS DO SABUGO DE MILHO E FIBRAS DE JUTA E DE VIDRO TIPO E**. 2023. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

OLIVEIRA, Michelle *et al.* Tucum Fiber from Amazon *Astrocaryum vulgare* Palm Tree: novel reinforcement for polymer composites. **Polymers**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 2259, 1 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12102259>.

PEDOTE, João Guilherme Macedo de Almeida. **Avaliação das Propriedades do Compósito de Acrilonitrila-butadieno-estireno carregado com fibra de palmeira real australiana**. 2020. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2020.

PENNAFORT JUNIOR, Luiz C. G. *et al.* Avaliação e Caracterização de Tubos Fabricados com PVC Reciclado. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 547-551, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.045>.

PINHEIRO, Gilvania Kátia Cruz. **INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO DA FIBRA DE VIDRO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE LAMINADOS EM COMPÓSITOS DE MATRIZ EPÓXI**. 2022. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

PIRES, Eduardo N. *et al.* Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. **Polímeros**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 339-344, 28 ago. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282012005000053>.

Poliéster insaturado. **SILAEX**. Disponível em: <http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm>. Acesso em: 16 de junho de 2023.>

PRADO, Karen S. *et al.* CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS PROVENIENTES DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 11., 2011, Campos do Jordão. **IAEA**. Sp: 11 Cbpol, 2011. p. 4051-4056.

PRAKASH, K. B. *et al.* Influence of Fiber Volume and Fiber Length on Thermal and Flexural Properties of a Hybrid Natural Polymer Composite Prepared with Banana Stem, Pineapple Leaf, and S-Glass. **Advances In Materials Science And Engineering**, [S.L.], v. 2021, p. 1-11, 7 out. 2021. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2021/6329400>.

RAJESHKUMAR, G. *et al.* Compósitos reforçados com fibra natural à base de ácido polilático (PLA), ecológicos, renováveis e sustentáveis – Uma revisão abrangente. **Revista Produção Mais Limpa**, v. 310, p. 127483, 2021.

REDELEASE. **Resina Ortoftalica / Laminação com Catalisador (530 g)**. 2023. Disponível em: <<https://www.redelease.com.br/resina-ortoftalica-laminac-o-com-catalisador-530-g.html>>. Acesso em: 15 jan. 2024.

REDELEASE. **CATALIZADOR MEK-P BUTANOX-M50**. 2024. Disponível em: <https://www.redelease.com.br/catalisador-mekp-butanox-m50-0-030-kg.html>. Acesso em: 15 jan. 2024.

REICHERT, Alexandra Augusta. **Filmes biodegradáveis à base de amido de milho incorporados com celulose obtida a partir da coroa do abacaxi**. 2021. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais., Programa de Pósgraduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

RIBEIRO, Gabriel Victor. **Simulação do Módulo de Young de Compósitos Reforçados com Fibra usando Aprendizado de Máquina**. 2022. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2022.

RIBEIRO, L. M. *et al.* Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). **Holos**, v. 1, p. 115-126, 2013.

SÁ, Bruno de Souza Ribeiro. **OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO DE POLIPROPILENO RECICLADO COM FIBRA DE PALMEIRA-REAL (Archontophoenix cunninghamiana)**. 2019. 41 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

SANCHEZ, Elisabete M. S. *et al.* Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 194-200, 1 out. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282010005000034>.

SANTOS JÚNIOR, Zulmar Jofli dos. **Fabricação e caracterização de um compósito com matriz de resina poliéster ortoftálica e carga de fibras de agave angustifolia haw**. 2017. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SANTOS, Danielton Gomes. **ESTUDO TERMO-HÍDRICO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADOS COM FIBRA VEGETAL: SIMULAÇÃO 3D E EXPERIMENTAÇÃO**. 2017. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos, Desenvolvimento de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SANTOS, Déborah Júlia Costa dos. **A INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO ALCALINO NAS FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER ORTOFTÁLICA**. 2022. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2023.

SANTOS, Erika Bomfim; *et. al.* Influência de fatores ambientais nas propriedades mecânicas de biocompósitos de pla reforçado com fibra de coco e borra de café. **Tecnológica**, v. 24, n. 1, pág. 93-102, 2020.

SANTOS, Michel Giffoni. **Compósitos Poliméricos Reforçados por Fibras de Licuri: Efeitos de Tratamentos Químicos na Adesão Interfacial**. 2023. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, 2023.

SANTOS, Roni Marcos dos. **Extração e caracterização de nanocristais de celulose a partir das folhas de abacaxi**. 2013. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SANTOS, Wanessa Raphaella Gomes dos. **TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA EM MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR FIBRAS VEGETAIS: MODELAGEM AVANÇADA E SIMULAÇÃO**. 2019. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos da Universidade Federal, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

SILVA, Everton J. *et al.* Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 12, p. 1268-1273, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1268-1273>.

SILVA, Ivana Rodrigues. **ESTUDO DA REAÇÃO DE RESINA POLIÉSTER E PERÓXIDO PARA FORMAÇÃO DE COMPÓSITO UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DE PÁS EÓLICAS**. 2022. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

SILVA, Juliana Cristina da *et al.* Extraction, Addition and Characterization of Hemicelluloses from Corn Cobs to Development of Paper Properties. **Procedia Materials Science**, [S.L.], v. 8, p. 793-801, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.137>.

SILVA, Victor Bastos *et al.* COMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE RESINA DE ÓLEO DE MAMONAREFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA: PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS. In: ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, 9., 2018, Búzios. **Essentia**, 2018. p. 1-7.

SIMONASSI, Noan T *et al.* Resistência a tração e flexão de compósitos de matriz policarbonato reforçados com fibra natural de sisal. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 33, p. 13-14, 11 mar. 2017.

SOUSA, Elizeu Moraes. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DO USO DE COMPÓSITO DE MATRIZ EPÓXI E TECIDOS DE SISAL COMO REFORÇO ESTRUTURAL EM MADEIRA**. 2020. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2020.

SOUZA, Jhonattas Muniz de. **REAPROVEITAMENTO DA MADEIRA TRATADA COM ARSENIATO DE COBRE CROMATADO E ISOLADOR ELÉTRICO CERÂMICO PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITO POLIMÉRICO**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

SOUZA, Luiz Guilherme Vieira Meira. **EFEITOS DA ADIÇÃO DE TECIDO DE FIBRA DE VIDRO TIPO E A UM COMPÓSITO DE RESINA POLIÉSTER E TECIDO DE FIBRA DE ALGODÃO**. Natal, RN: 2019. 130 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

STEFFEN, Milena. **OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO COM FIBRAS DE CASCA DE ARROZ E DE COROA DE ABACAXI**. 2022. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Feliz, 2022.

TEIXEIRA, Thiago. **Compósitos carbono/carbono processados a partir de uma matriz termoplástica: Um estudo abrangente**. 2023. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2023.

THIESEN JUNIOR, Anselmo. **ESTUDO COMPARATIVO DE LAMINADOS EM PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO OBTIDOS ATRAVÉS DOS PROCESSOS SPRAY-UP E HAND LAY-UP**. 2016. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

TIMBÓ, Karen Furtado *et al.* A INFLUÊNCIA DO POSICIONAMENTO DAS FIBRAS NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS COMPÓSITOS / THE INFLUENCE OF FIBER POSITION ON THE MECHANICAL STRENGTH OF COMPOSITES. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 11, p. 86078-86093, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n11-142>.

TONOLI, Gustavo Henrique Denzin. **Fibras Curtas de Eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento**. 2009. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

VÂRBAN, Rodica *et al.* Comparative FT-IR Prospecting for Cellulose in Stems of Some Fiber Plants: flax, velvet leaf, hemp and jute. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 11, n. 18, p. 8570, 15 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app11188570>.

VARELA, Pedro Henrique de Almeida. **Obtenção e caracterização e aplicabilidade de um compósito com matriz de resina ortoftálica e reforços de tecidos de juta (*Corchorus capsularis*) hibridizado com fibra de vidro**. 2017. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

YANG, Jianlei *et al.* Aplicações de fibras lignocelulósicas e lignina em bioplásticos: uma revisão. **Polímeros**, v. 11, n. 5, pág. 751, 2019.

ZANCANELLA, Antônio Carlos Barbosa *et al.* AVALIAÇÃO MECÂNICA DO COMPÓSITO RESINA POLIÉSTER COM FIBRA DO EPICARPO DO COCO. In: **CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**, 10., Salvador, Ba, Brasil, 2018. v. 10, p. 06-13.