

USO DE RESÍDUOS DE BAMBU COMO REFORÇO NA FABRICAÇÃO
DE COMPÓSITOS PARA UTILIZAÇÃO COMO OSB - *PAINÉIS DE
PARTÍCULAS ORIENTADAS*

MARIANA DIAS MACHADO LOPES

UNIVERSIDADE ESTUDUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

Abril - 2020

USO DE RESÍDUOS DE BAMBU COMO REFORÇO NA FABRICAÇÃO
DE COMPÓSITOS PARA UTILIZAÇÃO COMO OSB - *PAINÉIS DE
PARTÍCULAS ORIENTADAS*

MARIANA DIAS MACHADO LOPES

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia, da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências à
obtenção do título de Mestre em
Engenharia e Ciências dos Materiais.

Orientador: Prof. D.Sc. Carlos Maurício Fontes Vieira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

Abril – 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

USO DE RESÍDUOS DE BAMBU COMO REFORÇO NA FABRICAÇÃO
DE COMPÓSITOS PARA UTILIZAÇÃO COMO OSB - *PAINÉIS DE
PARTÍCULAS ORIENTADAS*

MARIANA DIAS MACHADO LOPES

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia, da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências à
obtenção do título de Mestre em
Engenharia e Ciências dos Materiais.

Aprovada em 24 de Abril de 2020

Comissão Examinadora:

Felipe Perissé Duarte Lopes (D.Sc.) - UENF

Noan Tonini Simonassi (D.Sc.) - UENF

Maycon de Almeida Gomes (D.Sc.)

Prof., Carlos Maurício Fontes Vieira (D.Sc.) - UENF (Orientador)

“Podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento”

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Osvaldo e Luciene, meu irmão Carlos, meu marido Paulo Felipe e aos meus familiares. E amigos que me ajudaram e incentivaram, dando força e coragem para concluir mais esta etapa.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente à Deus por permitir que eu tivesse a oportunidade de cursar uma graduação, e agora, uma pós-graduação;

Aos meus pais, Osvaldo e Luciene, pelo amor e apoio incondicional;

Ao meu irmão, Carlos e minha cunhada Thaís por todo apoio mesmo de longe;

Ao meu marido Paulo Felipe, pelos puxões de orelha, pelos conselhos e por nunca me deixar desistir;

Aos meus familiares que, de certa forma, sempre me motivaram a crescer;

Ao grupo de pesquisa, especialmente ao Noan e ao Felipe por serem tão solícitos.

Aos professores Eduardo, Raul, Márcia, Djalma e em especial ao meu orientador Carlos Maurício por todo direcionamento durante essa jornada.

Ao Magno pela colaboração no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos amigos Lucas, Escarlet e Luciano, pelos desabafos e por toda ajuda.

A todos funcionários da UENF, da chefia ao pessoal da limpeza, que propiciaram um ambiente adequado para a realização de nossos trabalhos;

À capes pela concessão da bolsa de mestrado;

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivos Gerais.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Justificativa.....	3
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2. Materiais Compósitos.....	4
2.1 Aspectos Gerais.....	4
2.1.1 Reforço	6
2.1.1 Matriz	7
2.2 Fibras Naturais	10
2.2.1 Fibra De Bambu	17
2.3 Resinas Poliméricas.....	22
2.3.1 Poliuretano À Base De Óleo Da Mamona.....	22
2.4 Aplicações – Materiais Compósitos.....	24
2.4.1 Uso De Resíduos Na Produção De Materiais Compósitos	24
2.4.1.1 Resíduos Sólidos	25
2.4.2 Compósitos Poliméricos Reforçados Com Fibras Naturais.....	26
2.4.3 Painéis De Compósitos Poliméricos Lignocelulósicos	28
2.5 OSB.....	29
CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 Materiais.....	33
3.2 Métodos.....	34
3.2.1 – Caracterização das Fibras	35
3.2.1.1 – Determinação da densidade das Fibras	35
3.2.1.2 – Caracterização Microestrutural das Fibras	36
3.2.2 – Preparação dos Corpos de Prova	36
3.2.3 – Ensaio físicos	38

3.2.3.1 – Densidade.....	39
3.2.3.2 – Absorção de água.....	40
3.2.3.3 – Inchamento em espessura.....	41
3.2.4 – Ensaio Mecânicos	41
3.2.4.1 – Ensaio de Flexão	41
3.2.4.2– Ensaio de tração perpendicular	43
3.2.4.3 – Ensaio de arrancamento de parafuso – Superfície.....	44
3.2.4.4– Ensaio De Impacto Charpy	46
3.4.5 – Caracterização Microestrutural das Fibras da região da fratura.....	47
3.2.5– Análise térmica.....	47
3.2.5.1 – Análise termomecânica (TMA).....	47
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1– Caracterização das fibras	48
4.1.1 – Determinação da densidade das fibras.....	48
4.1.2 – Análise microestrutural das fibras	49
4.2 – Ensaio Físicos	51
4.2.1 – Densidade.....	52
4.2.2 – Absorção de água e de Inchamento em espessura.....	53
4.3 – Ensaio Mecânicos	56
4.3.1 – Resistência a flexão.....	57
4.3.2 – Resistência a tração perpendicular – faces	59
4.3.3 – Arrancamento de parafuso	61
4.3.4 – Resistência ao impacto – Charpy	63
4.5 – MEV das regiões de fratura	66
4.5 – Análise térmica.....	67
4.5.1 – Análise termomecânica (TMA).....	67
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	69
5.1 – Conclusões	69
5.1 – Sugestões De Trabalhos Futuros.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação de bambu com outros materiais de engenharia.....	1
Figura 2 - Ruptura Em Materiais Compósitos.....	5
Figura 3 - Classificação de compósitos poliméricos.....	7
Figura 4 - Garrafa Biodegradável.....	9
Figura 5 - Gráfico Tensão x Deformação de Fibras, Compósitos e Matriz.....	12
Figura 6 - Relação entre o módulo de Young e o Ângulo de orientação das fibras ..	13
Figura 7 - Classificação de fibras lignocelulósicas segundo a origem.....	15
Figura 8 - Diagrama esquemático da estrutura de uma fibra de bambu.....	18
Figura 9 - Estrutura anatômica do bambu.....	19
Figura 10 - Células do parênquima contendo grânulos de amido.....	20
Figura 11 - Localização da Hemicelulose na parede celular.....	21
Figura 12 - Síntese de poliuretano a partir de di-isocianato de parafenileno e etilenoglicol.....	23
Figura 13 - Evolução do número de publicações por ano com a palavra-chave “biocomposite” no banco de dados da KSI knowledge.....	27
Figura 14 - Orientação das partículas no painel OSB.....	29
Figura 15 - Aplicação doméstica dos painéis OSB.....	31
Figura 16 - Resíduos Da Fabricação De Palito De Bambu.....	33
Figura 17 - Resina Poliuretana À Base De Mamona.....	33
Figura 18 - OSB Comercial.....	34
Figura 19 - Picnômetro.....	35
Figura 20 - Microscópio Eletrônico de Varredura.....	36
Figura 21 - Preparação dos corpos de prova: seleção dos materiais.....	37
Figura 22 - Preparação dos corpos de prova: Material prensado.....	38
Figura 23 - Corpos de provas para os ensaios físicos.....	39
Figura 24: Dimensões dos corpos de provas para o ensaio.....	39
Figura 25 - Ensaio de Flexão sendo executado.....	42
Figura 26 - Material desenvolvido para execução do ensaio de tração perpendicular.....	43
Figura 27 - Corpos de provas: ensaio de tração perpendicular.....	44
Figura 28 - Material desenvolvido para execução do ensaio de arrancamento de parafuso.....	45
Figura 29 - Corpos de provas: ensaio de arrancamento de parafuso.....	46
Figura 30 - Fibra de bambu no seu estado natural.....	49
Figura 31 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da seção longitudinal do bambu, (a) células do parênquima; (b) amido.....	50
Figura 32 - Análise morfológica da seção transversal de uma amostra da fibra de bambu.....	51
Figura 33 - Médias e desvios padrões encontrados no ensaio de Densidade.....	52
Figura 34 - Médias e desvios padrões do ensaio de AA durante 24 horas.....	53
Figura 35 - Médias e desvios padrões do ensaio de Inchamento em espessura durante 2 e 24 horas.....	55
Figura 36- Resultados do ensaio de resistência a flexão.....	57
Figura 37 - Tração perpendicular.....	59

Figura 38 - Resultados Do Ensaio De Arrancamento De Parafuso.....	61
Figura 39 - Gráfico com os resultados do ensaio de impacto.....	64
Figura 40 - Corpos de prova após o ensaio de impacto.....	65
Figura 41 - MEV da região de fratura	66
Figura 42 - Análise térmica (TMA).....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades de algumas FNL em comparação com as fibras sintéticas	14
Tabela 2 - Tipos de painéis e requisitos.....	29
Tabela 3 - Diferentes valores de massa específica das espécies de bambu.....	48
Tabela 4 - Médias e desvios padrões encontrados no ensaio de Densidade	52
Tabela 5 - Ensaio de AA	53
Tabela 6 - Síntese dos resultados encontrados - AA	54
Tabela 7 - Ensaio de IE.....	55
Tabela 8 - Síntese dos resultados encontrados - IE.....	56
Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência a flexão	57
Tabela 10- Requisitos Estabelecido Em Normas - MOR e MOE.....	58
Tabela 11 - Síntese dos resultados encontrados - Resistência a flexão	58
Tabela 12 - Resultados Do Ensaio De Tração Perpendicular E Requisitos Estabelecidos Em Normas	60
Tabela 13 - Síntese dos resultados encontrados – Tração Perpendicular	61
Tabela 14 - Resultados do ensaio de arrancamento de parafuso	62
Tabela 15 - Síntese dos resultados encontrados – Arrancamento de parafuso	62
Tabela 16 - Resultados ensaio de impacto - Charpy.....	63
Tabela 15 - Síntese dos resultados encontrados – Impacto	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA - Absorção de água

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI - *American National Standards Institute*

AP - Arranchamento de parafuso

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CS - *Commercial Standard*

EN - *European standard*

IE - Inchamento em espessura

FNL - Fibras Naturais Lignocelulósicas.

MEV - Microscópio Eletrônico de varredura

MOR - Módulo de Ruptura

MOE - Módulo de elasticidade

OSB - *Oriented Strand Board*

PU - Poliuretano

TP - Tração perpendicular

UF- Uréia-formaldeído

RESUMO

USO DE RESÍDUOS DE BAMBU COMO REFORÇO NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS PARA UTILIZAÇÃO COMO OSB - *PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS*

Devido a inovação no ramo da ciência e tecnologia e aumento da eficiência nos processos produtivos, progressivamente busca-se alternativas para reduzir o volume de resíduos industriais e pós-consumo. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa constitui-se em desenvolver e caracterizar compósitos poliméricos, utilizando como reforço resíduos de fibra de bambu proveniente de uma indústria de produção de espeto combinados a resina de óleo de mamona, compara-los com OSB (*Oriented Strand Board*) comercial na busca de alternativas que viabilizem seu aproveitamento em aplicações voltadas a construção civil. Para isso, foi feito um estudo comparativo do material fabricado com o material OSB a fim de analisar a viabilidade de utilização. O resíduo utilizado foi caracterizado por meio de ensaios de densidade e por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os compósitos produzidos foram reforçados com resíduos com frações volumétricas de 20 e 40%, para aferição das propriedades de acordo com o incremento da fração de volume de fibras, sendo avaliados por meio de ensaios físicos, mecânicos e térmico. E, por meio dos resultados obtidos foi possível constatar que houve uma melhoria nas propriedades. Os resultados comprovaram que existe a possibilidade de substituição do OSB pelo material compósito de resina poliuretana vegetal reforçado por resíduo de fibras de bambu, não só mantendo as resistências mecânicas, mas também as melhorando.

Palavras chave: Compósitos; resíduos; OSB; Bambu.

ABSTRACT

USE OF BAMBOO WASTE AS REINFORCEMENT IN THE MANUFACTURE OF COMPOSITES FOR USE AS OSB - ORIENTED PARTICULATE PANELS

Due to innovation in the field of science and technology and increased efficiency in production processes, alternatives are gradually being sought to reduce the volume of industrial and post-consumption waste. In this context, the objective of this research is to develop and characterize polymeric composites, using as a reinforcement bamboo fiber residues from a skewer production industry combined with castor oil resin, to compare them with OSB (Oriented Strand Board) commercial in the search for alternatives that enable its use in civil construction applications. For this, a comparative study of the material manufactured with the OSB material was made in order to analyze the feasibility of use. The waste used was characterized by density tests and scanning electron microscopy (SEM). The composites produced were reinforced with residues with volumetric fractions of 20 and 40%, to measure properties according to the increase in the volume fraction of fibers, being evaluated by means of physical, mechanical and thermal tests. And, through the results obtained it was possible to verify that there was an improvement in the properties. The results proved that there is a possibility of substituting the OSB for the composite material of vegetable polyurethane resin reinforced by bamboo fiber residue, not only maintaining the mechanical strengths, but also improving them.

Keywords: Composites; waste; OSB; Bamboo.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

O crescimento populacional exige maior demanda por bens de consumo, o que implica em um aumento significativo na geração de resíduos. A grande questão na atualidade é como avançar tecnologicamente tendo como pilar o conceito de sustentabilidade.

Segundo Klímek et al. (2018), tendo em vista os altos volumes de produção ligado as restrições dos recursos naturais, uma escassez futura no fornecimento de madeira, por exemplo, está potencialmente se tornando um assunto delicado. Desta forma, a crescente variedade de recursos lignocelulósicos pode ser de importância estratégica, visto que a utilização de resíduos como matéria-prima tem benefícios econômicos, reduzindo os encargos ambientais e melhorando a eficiência da cadeia de valor.

A Figura 1 fornece uma comparação do bambu em relação aos materiais convencionais. Algumas peculiaridades tal como a resistência à tração, baixa densidade (o que o faz dele um material eficiente) e a produção vista como limpa e com consumo de energia inferior a maioria, faz com que o bambu seja considerado atrativo.

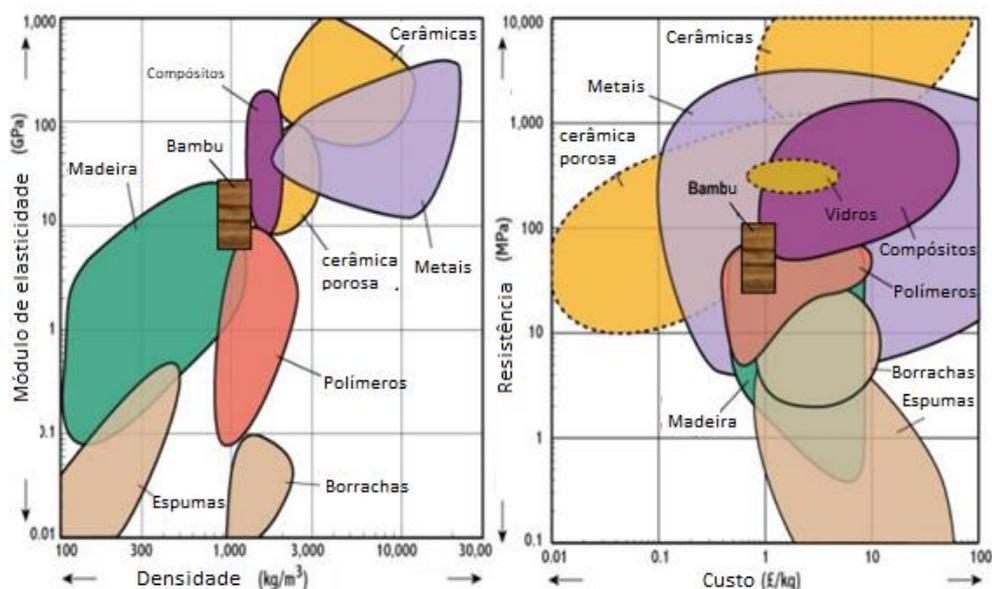


Figura 1 - Comparação de bambu com outros materiais de engenharia.

Fonte: Adaptado - Vaidya, 2017

O bambu tem um ciclo de desenvolvimento rápido, tornando-o um recurso natural altamente atrativo se comparado com demais espécies arbóreas dos gêneros comerciais existentes. Além das aplicações comuns de bambu na construção civil, em fôrmas para concreto, o bambu pode ser aplicado na fabricação de laminados utilizando-se de resinas poliméricas sob determinadas condições como temperatura e pressão. (Costa *et al*, 2014)

Já na década de 80, Jindal observou em seu estudo que a resistência à tração da fibra de bambu utilizada como reforço em compósito de matriz polimérica é comparativamente equivalente ao do aço macio. Portanto, estes compósitos podem ser extremamente úteis em diversas aplicações, possuindo um grande potencial para ser utilizado como reforço em matrizes poliméricas.

E, dentre as matrizes poliméricas, a resina de poliuretano tem ganhado muito destaque por ser um dos polímeros mais versáteis que existe, podendo ser proveniente de recurso renovável, tal como o poliuretano derivado do óleo de mamona e, em virtude do grande número de reagentes que podem ser usados para a sua fabricação, os poliuretanos podem ser fabricados em diversas formas: rígido, flexível, borrachoso e na forma de espumas. (Targa, 2011)

No Brasil, os painéis mais produzidos são os de aglomerados. Sendo confeccionados a partir de partículas de madeira compactado com adesivos e prensados a quente. E, esses painéis podem ser confeccionados utilizando qualquer material lignocelulósico que imprimam alta resistência mecânica e peso pré-estabelecidos, já que a composição química é similar à da madeira. (Rowell *et al*,2000)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo desta pesquisa constitui-se em desenvolver e caracterizar compósitos poliméricos utilizando como reforço fibras de bambu provenientes de resíduos da fabricação de produção de espeto, combinados a matriz a base de resina de óleo de mamona e compará-los com o OSB (Oriented Strand Board) na busca por alternativas que viabilizem seu reaproveitamento em aplicações voltadas à construção civil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Desenvolver e caracterizar materiais compósitos polimérico reforçados com resíduos de bambu em quantidades que representaram 0, 20 e 40% em volume de reforço.
- ✓ Realizar, de forma comparativa, análise microestrutural da fibra, avaliação das propriedades físicas, mecânicas e térmicas, e análise da região da fratura dos materiais fabricados com diferentes frações de fibra e o OSB comercial.
- ✓ Determinar a viabilidade de utilização como material útil na construção civil de acordo com a classificação e parâmetros das normas vigentes

1.3 Justificativa

Os materiais compósitos são materiais que detém excelentes valores de resistência mecânica aliados a baixa densidade. A utilização destes materiais tem sido cada vez mais explorada na indústria, e seu uso tem ocorrido em inúmeras áreas, destacando-se na área de construção civil.

Na etapa de estudo de viabilidade do projeto não foram encontradas publicações que abrangesse todos os parâmetros estudados nesta dissertação.

Entre os materiais utilizados como reforço, destaca-se que as fibras de bambu por possuírem excelentes propriedades mecânicas e poderem ser cultivadas em território nacional. E, a reutilização do bambu, na forma de resíduos, visa solucionar o problema de acúmulo de resíduo consecutivo da produção a base de bambu.

O Brasil detém a maior biodiversidade de bambu das Américas sendo uma das maiores do mundo, com aproximadamente 230 espécies nativas do Brasil em praticamente todas as regiões. E em 2011, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) firmou um Memorando de Entendimento (MoU) com a China para reforçar a cadeia produtiva de bambu no Brasil.

A china é o maior produtor de bambu do mundo e é o país que obtém o maior retorno com a utilização desta planta movimentando aproximadamente US\$ 30 bilhões, o que configura cerca de metade do mercado mundial. Assim, o material tem um grande potencial no que se refere a utilização de matéria prima limpa e que não agride o meio ambiente.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. Materiais Compósitos

2.1 Aspectos Gerais

De acordo com a definição normativa, ASTM D3878 (2016), materiais compósitos são aqueles formados pela combinação de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, em que a combinação desses materiais origina um material útil para a engenharia, o qual possui propriedades diferentes das encontradas nos constituintes separadamente. Além disso, podem atender as mais variadas finalidades, no que se refere a aplicação industrial e às causas ambientais.

Ao combinar propriedades de dois tipos de constituintes diferentes busca-se obter um material com propriedades superiores, portanto, os materiais compósitos detêm uma variada gama de aplicações em diversas áreas. (Dittenber *et al*, 2012)

Os materiais compósitos apresentam potencial pela obtenção de resistência elevada e rigidez, e com o diferencial de ter menor peso, ao ser comparado com estruturas convencionais (Hamouda *et al*, 2015).

A interface é um elemento de suma importância em materiais compósitos e consiste na região onde ocorre o contato entre os componentes do compósito e é a responsável principal pela transferência mecânica da matriz para o reforço no material compósito. (Li *et al.*, 2000)

A interação entre a matriz e o reforço é de suma importância do desempenho dos materiais compósitos. Compósito com força de interação matriz reforço baixa tende a falhar sob tensões relativamente baixas. (Gatenholm, 1997)

Existem vários tratamentos aplicados sob as superfícies das fibras para aumentar a interface entre a matriz e a fibra. Aspectos como estes, relacionados com o desenvolvimento do compósito, são de grande importância para aplicações dos materiais nos mais variados setores industriais. (Gatenholm, 1997)

A adesão dos materiais está relacionada ao tipo de interação, que pode ser: ligações de hidrogênio, eletroestáticas, ligações covalentes ou forças de van der Waals. A natureza da interação está diretamente relacionada a afinidade entre a matriz e o reforço, geralmente as fibras naturais exibem natureza hidrofílica e o polímero natureza hidrofóbica. (Gatenholm, 1997)

A natureza da interação polar e hidrofílica das fibras lignocelulósicas e a característica apolar e hidrofóbica das matrizes poliméricas geram dificuldades para uma compatibilidade de interfaces fibras/matriz, que promove uma diminuição da resistência mecânica em flexão do compósito (Rowell, 2000).

A fratura em materiais compósitos pode ser dividida em ruptura interlaminar (delaminação) e ruptura intralaminar, como pode ser observado na figura 2. Em rupturas intralaminar a fratura pode acontecer como consequência do desprendimento da fibra, ponte de fibras, deslocamento interfacial fibra/matriz, ruptura das fibras, ruptura da matriz, e rupturas interlaminar em função do deslocamento de duas camadas contínuas, sendo um tipo de ruptura muito comum nos materiais de fibras contínuas. (Silva, 2003)

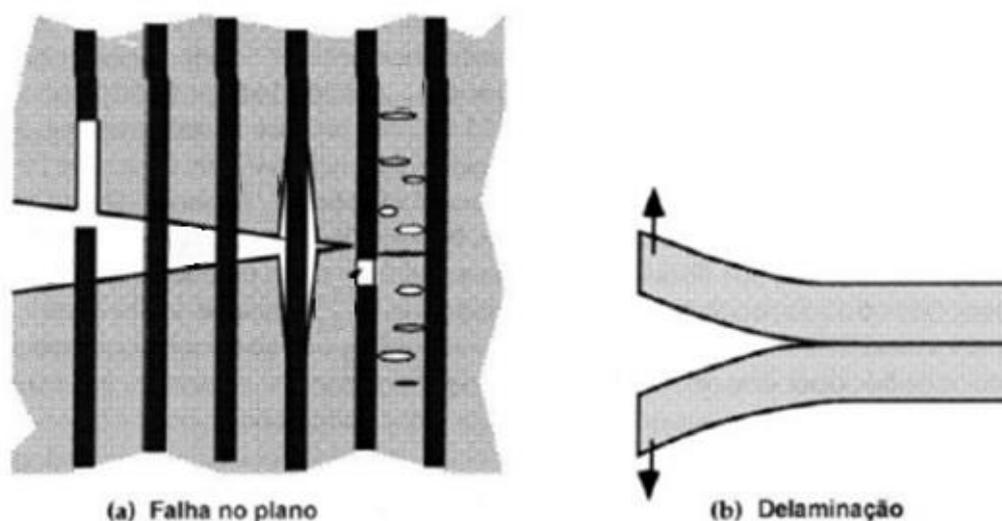


Figura 2 - Ruptura Em Materiais Compósitos

Fonte: (Silva, 2003).

Os materiais compósitos podem ser classificados em:

a) biocompósitos ou compósitos verdes – são os que geram impacto ambiental menor, fabricados utilizando uma matriz polimérica renovável, sintética, ou com característica de biodegradabilidade reforçadas com fibras renováveis ou naturais;

b) os compósitos híbridos que são feitos utilizando uma mistura de fibras sintéticas e/ou naturais modificadas (John E Thomas, 2008).

Biocompósitos são utilizados nos setores automotivos, na construção civil e militar, equipamentos de uso doméstico, embalagens, no setor esportivo e aeroespacial. (DIAS, 2008).

Os requisitos para um material poder ser considerado biodegradável são:

- Biodegradabilidade completa do material, medido por testes respirométricos (Norma ASTM D5338-92 e ISO 14855);
- Não provocar efeitos tóxicos no ambiente;
- Ocorrer a desintegração do material durante a fase de fermentação, ou seja, o material tem de ser visualmente indistinguível;
- O compósito depois de degradado deverá ser comparado com compósitos livres de resinas biodegradáveis (Mohanty et al, 2000);

Quando um material biodegradável, seja ele polímero puro, produto misturado, ou composto, é obtido totalmente a partir de recursos renováveis, pode-se considerado um material polimérico verde. (Kaplan, 1998).

As inovações no que se refere ao desenvolvimento dos biopolímeros, a proteção do clima, a redução de resíduos, redução da libertação de dióxido de carbono e a aplicação de recursos agrícolas são algum dos motivos pelos quais esses materiais têm atraído o interesse público. (Lorcks, 1998).

O componente que é incorporado é denominado reforço e este pode ser encontrada na forma de fibras, partículas ou flocos, enquanto a matriz é contínua. (Bansal, 2017; Arpitha, 2017; Kumre, 2017).

As propriedades mecânicas dos compósitos dependem de três fatores: da estrutura, da fração volumétrica, e da interação físico-química dos materiais que os compõe. Outros fatores são importantes, como: a geometria, dimensão, concentração e dispersão do reforço. (Ventura, 2009)

Os compósitos poliméricos reforçados por fibras são interessantes em diversas aplicações por possuírem características, tal como: são projetáveis de acordo com sua finalidade, possuem formato distinto, possuem resistência química alta e possuem alto módulo de elasticidade e resistência à tração. (Madbouly et al, 2011)

2.1.1 Reforço

O reforço pode ser um material orgânico ou inorgânico, de forma regular ou irregular, fibroso ou pulverulento, com os fragmentos achatados ou como fibras muito curtas, de dimensões quase moleculares. Já a matriz é geralmente um polímero orgânico (termoplástico ou termofixo). (Kumre, 2017).

Dentre as distintas classificações dos materiais compósitos (Figura 3), destaca-se a classificação segundo a forma da fase dispersa. Nesta classificação, os compósitos são separados em fibrosos, particulados e estruturais. Os compósitos fibrosos são divididos em reforçados por fibras contínuas e reforçados por fibras descontínuas. (Neto E Pardini, 2006)

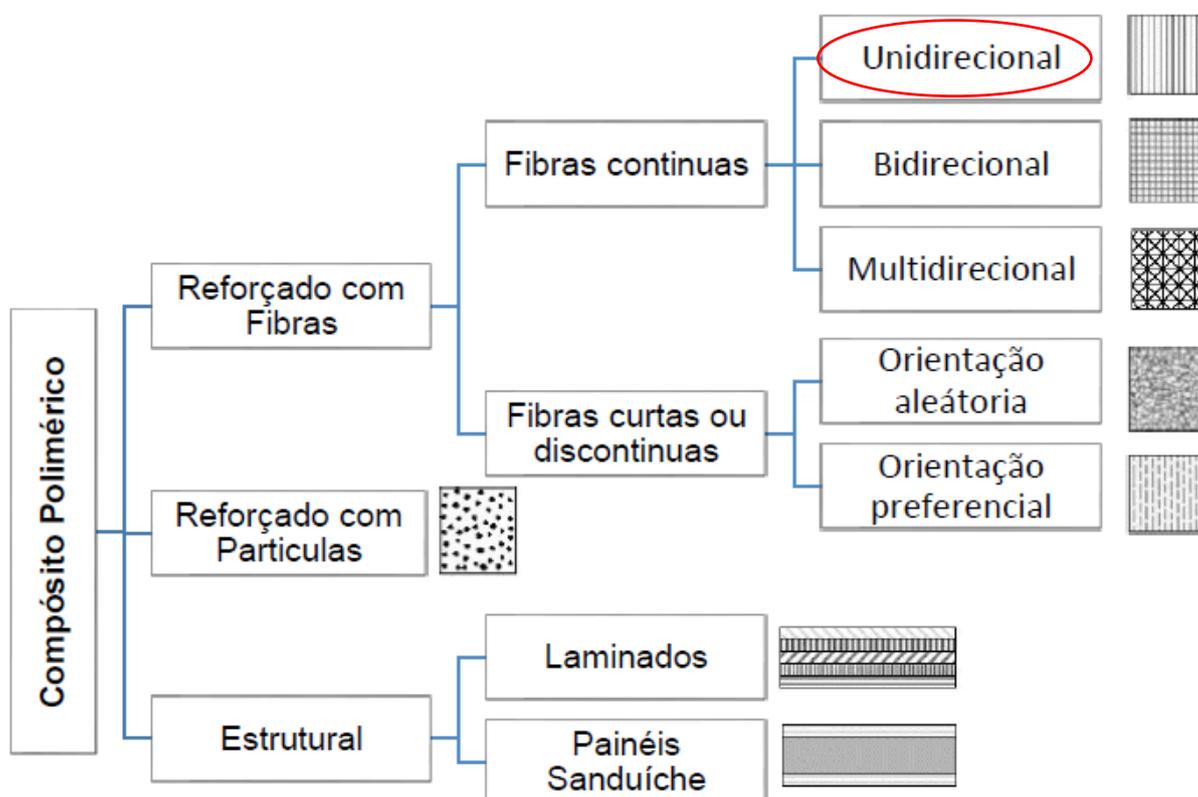


Figura 3 - Classificação de compósitos poliméricos

Fonte: (adaptado de Karak, 2012).

2.1.1 Matriz

A matriz é a parte do compósito que atua como meio de transmissão e distribuição da tensão aplicada para o material reforço, sendo apenas uma pequena parcela da carga suportada pela matriz. (Callister, 2008).

Também protege as fibras ou partículas individuais contra danos superficiais em decorrência da abrasão mecânica ou de reações com o ambiente. Ela separa os elementos de reforço se comportando como uma barreira contra a propagação de trincas. O módulo de elasticidade do reforço deve ser sempre maior do que o apresentado pela matriz (Callister, 2008).

Os compósitos podem ser classificados quanto aos seguintes tipos de matrizes: matriz cerâmica, metálica e polimérica. (Levy Neto *et al*, 2006).

Segundo Guimarães Junior (2010), as matrizes metálicas e cerâmicas apresentam limitações na fabricação de materiais industriais obtidos na forma de compósito devido as temperaturas de trabalho elevadas, sendo necessária a utilização de reforços que as suportem, por esta razão prioriza-se as matrizes poliméricas.

As matrizes poliméricas, também chamadas de resinas, são divididas basicamente pelas resinas termorrígidas e as termoplásticas. As termorrígidas são resinas que a rigidez não se altera com a temperatura, elas sofrem degradação quando submetidas a altas temperaturas. (Levy Neto *et al*, 2006).

São muito utilizadas na fabricação de materiais compósitos devido a sua estabilidade em elevadas temperaturas e resistência química. As termoplásticas são quando submetida a determinadas temperaturas amolecem e se fundem. A matriz termoplástica apresenta alta viscosidade e não é tão indicada para a utilização em materiais compósitos já que essa característica pode dificultar a sua aplicação, gerar desalinhamento das fibras e formação de bolhas na matriz (Levy Neto *et al*, 2006).

Os materiais poliméricos são constituídos por macromoléculas, produzidas por meio de reações de polimerização que resultam na junção de duas ou mais unidades menores denominadas de “monômeros”. (Martins Neto, 2010)

Os monômeros são formados por átomos de carbono, imprimindo neste grupo de materiais características relacionadas a esse elemento químico. São materiais que exibem diversas propriedades consideradas baixas, tais como: densidade relativa, condutividade elétrica, resistência a temperatura, condutividade elétrica, etc. Os polímeros são divididos em termoplásticos ou termofixos, e têm como principal diferença o comportamento estrutural quando inseridos em temperaturas elevadas (Martins Neto, 2016).

Os Termoplásticos são constituídos de ligações fracas (Van de Waals) entre as cadeias, podendo ser facilmente rompidas quando submetida a alguma fonte de energia, normalmente sob forma de calor, isto é, com o aumento da temperatura se tornam maleáveis e podem ser moldados novamente em diferentes formas, e com a redução da temperatura, se tornam sólidos novamente. (Martins Neto, 2016).

Os Termofixos são formados por cadeias ramificadas compartilhadas entre si, com ligações químicas covalentes (primárias) que só são rompidas quando elevadas quantidades de energia são introduzidas. No entanto, geralmente essa quantidade de energia significativa além de romper essas ligações, também estimulam a degradação e rompem as outras ligações que compõe as cadeias poliméricas. Então, sabe-se que esse tipo de ligação é responsável pelo comportamento dos termofixos, elevando a dificuldade de conformação e reprocessamento quando submetidos a ação de pressão e ou temperatura. (Gomes, 2015).

Polímeros biodegradáveis são provenientes de fontes naturais e renováveis, originados nas mais diversas condições ambientais, como o exemplo mostrado na figura 4. Constituem diferentes estruturas macromoleculares e composições de monômeros e possuindo diferentes propriedades físicas. Eles podem ser produzidos naturalmente que é o caso dos que provém das plantas, dos animais ou dos microrganismos, ou os sintéticos utilizando materiais biológicos, como por exemplo, o açúcar, os óleos, entre outros na sua produção. (Bastos, 2007).



Figura 4 - Garrafa Biodegradável.

Fonte: <http://greenplastics.net/posts/96/what-makes-biodegradableplastic-degrade/>

O termo "Biodegradável" é focado na serventia de um polímero, "biodegradabilidade", e refere-se à capacidade dos polímeros de sofrer uma transformação química e se degradar pela ação de microrganismos, como fungos e bactérias num período específico de tempo sob condições adequadas de temperatura, umidade, luz, oxigênio e nutrientes, (Niaounakis, 2015).

Existem diversas aplicações para polímeros biodegradáveis, podemos citar encapsulamento de sementes, contenção de encostas para evitar erosão, liberação controlada de defensivos agrícolas, recobrimento de plantações, embalagens descartáveis, utilização em materiais compósitos para as mais variadas designações, dentre outras.

O consumo inconsciente dos polímeros não biodegradáveis gera uma preocupação ainda maior com o futuro do planeta, sendo uma das propriedades mais preocupantes destes é a resistência à degradação, que é elevada, levando muitos anos para que haja a decomposição. (Brito, 2011)

O fato destes materiais possuírem características positivas para o meio ambiente, assim como para nós humanos, torna-o um dos principais materiais em competição com os provenientes de matérias primas fósseis. Grande parte destes polímeros biodegradáveis são biocompatíveis, isto é, não têm efeitos tóxicos e são biodegradáveis, sendo que aproximadamente 90%, se decompõem em cerca de seis meses. (Rosa, 2002)

O polímero biodegradável obtido a partir de fontes renováveis tem destaque principalmente nas áreas das embalagens e descartáveis. Em razão do elevado consumo das embalagens de PE, PP e principalmente do PET, numa procura de substituição destes mesmos materiais. Numa procura de reaproveitamento de produtos para o consumo humano, muitos polímeros biodegradáveis são também utilizados em compósitos ecológicos de forma a conceber ao material melhores propriedades mecânicas. (Castilho, 2009)

2.2 Fibras Naturais

As fibras naturais têm sido alvos de pesquisas por serem uma ótima alternativa no que diz respeito ao reaproveitamento de resíduos e por exibirem um caráter ecológico gerando assim um impacto baixo ao ambiente. As classificações das fibras naturais são listadas a seguir. (Ramamoorthy *et al*, 2015)

- **Fibras de origem vegetal:**

As fibras vegetais são divididas em diferentes tipos, por exemplo, fibras de semente (algodão), de raiz (zacatão), de caule (linho, bambu), de folha (sisal) e de fruto (coco).

- **Fibras de origem mineral:**

As fibras de origem mineral são provenientes de rochas e exibem uma composição à base de silicatos. Como, por exemplo, as fibras de basalto, crisotila, crocidolita e o amianto.

- **Fibras de origem animal** :

As fibras de origem animal podem ser originárias de secreção glandular de alguns insetos, tais como, a seda, onde os filamentos de fibroína³ ligam-se por sericina ou também a partir de bolbos pilosos de alguns animais com uma estrutura molecular de queratina, como, a lã extraída das ovelhas.

O uso de fibras vegetais, como o algodão, juta, o sisal e ou o coco, são frequentemente utilizadas como reforço em materiais compósitos por adicionar a ele diversas propriedades interessantes, como a baixa densidade, menor abrasão durante o processamento, obtenção de níveis elevados de preenchimento que resulta num aumento de rigidez do material e elevação da sua durabilidade. Além disso, o fato delas serem biodegradáveis e serem provenientes de fontes renováveis resulta no baixo custo das mesmas. (Corradini *et al*, 2008).

Existem quatro aspectos que imprimem as fibras uma melhora na resistência mecânica, são elas:

- **Tamanho do reforço:** Por meio da transferência de tensão a fibra sofre um aumento da resistência, logo, para que a tensão seja transferida de forma correta é preciso que a fibra tenha um comprimento mínimo só então a fibra passa a ser um concentrador de tensões gerando um suporte mecânico ao material como um todo.
- **Concentração crítica:** As fibras devem ter uma concentração mínima crítica para que haja transferência significativa de tensões, caso contrário, além de não gerar um aumento da resistência pode acarretar em uma diminuição da mesma, devido a limitação de deformação impressa pela matriz que pode ocasionar diminuição da resistência a tração da matriz.

Na figura 5 é possível identificar a diferença relacionada a resistência dos componentes matriz e reforço.

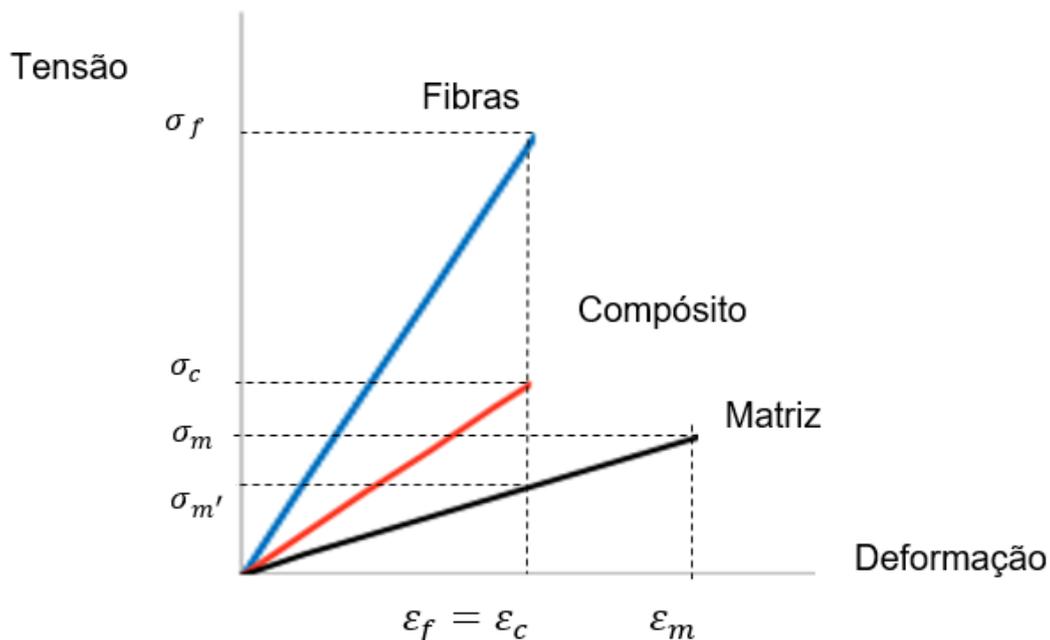


Figura 5 - Gráfico Tensão x Deformação de Fibras, Compósitos e Matriz.

Fonte: Afinko Soluções em Polímeros

- Adesão interfacial: considerada como o “coração” do material compósito a interface pode gerar uma falha catastrófica, já que é nela que acontece a transferência de esforços.
- Orientação: Em razão da anisotropia das fibras, a orientação delas é um elemento que tem grande influência na resistência do material compósito. Fibras orientadas paralelamente à solitação mecânica costumam apresentar o melhor desempenho e as fibras orientadas na direção perpendicular exibem um desempenho inferior.

Ainda sobre a orientação das fibras, segundo Wang et al. (2014), a rigidez de um compósito isotrópico transversal reforçado com uma fibra unidirecional, alcança o maior valor no Ângulo 0° e com valores próximos a de 60° sua rigidez tem valores menores e depois deste ângulo começa a subir rapidamente o modulo de Young para uma análise numérica.

E, como se pode observar na figura 6, quando assume valores próximos a 45° que começa a obter valores menores de rigidez.

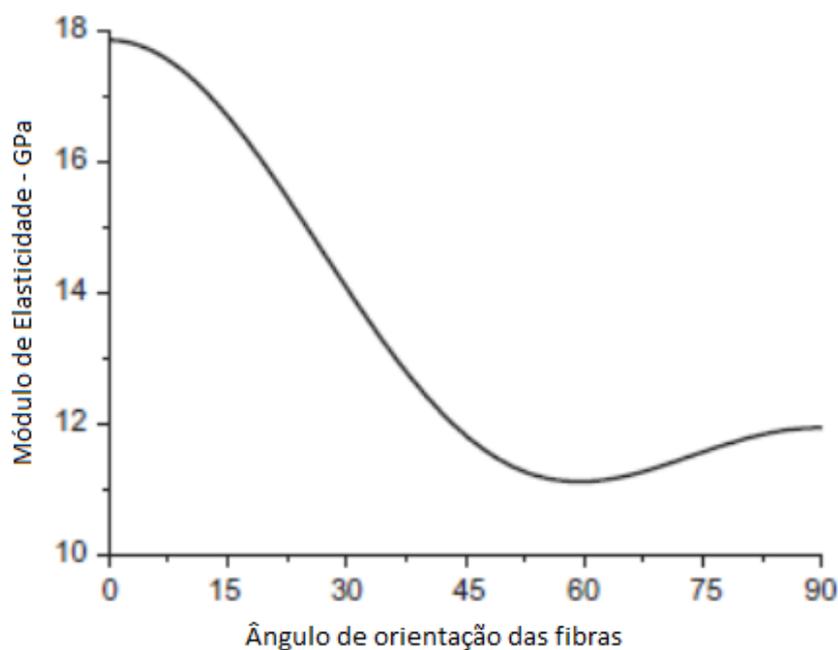


Figura 6 - Relação entre o módulo de Young e o Ângulo de orientação das fibras

Fonte: Wang et al, (2014)

Segundo Joseph (1999), a resistência à tração de compósitos unidirecionais testados longitudinalmente ao reforço, tem resistência 300% superior ao de compósitos com fibras multidirecionais.

Ao longo das últimas décadas, observa-se um interesse crescente em fibras lignocelulósicas como substituto das fibras sintéticas em razão do seu baixo peso, alto desempenho mecânico, origem renovável e menor custo. (Quinayá, 2017)

Embora as propriedades mecânicas das fibras vegetais, como módulo de elasticidade (E) e resistência à tração (σ_t) serem inferiores as propriedades das fibras de vidro (FV), a densidade das fibras vegetais, que varia entre 0,7 e 1,4 g/cm³, é cerca de metade da densidade da fibra de vidro (aproximadamente de 2,5 g/cm³). Desta maneira, as propriedades específicas das fibras vegetais são comparáveis às da fibra de vidro, e podem até substituí-las parcialmente ou integralmente em determinadas situações. (MOHANTY et al, 2005).

Na tabela 1 são apresentados dados comparativos referentes a densidade de fibras comumente utilizadas como reforços em compósitos.

Tabela 1 - Propriedades de algumas FNL em comparação com as fibras sintéticas

Fibra	Densidade (g/cm³)
Bambu (Bambusa vulgaris)	1,03-1,21
Banana (Musa sapientum)	0,67-1,50
Coco (Cocos nucifera)	1,15-1,52
Curauá (Ananas erectifolium)	0,57-0,92
Cânhamo (Cannabis sativa)	1,07
Juta (Corchorus capsularis)	1,30-1,45
Linho (Linum usitatissimum)	1,30-1,50
Rami (Boehmeria nivea)	1,5
Sisal (Agave sisalana)	1,26-1,50
Fique (Furcraea andina)	0,67-0,87
Vidro E	2,50-2,58
Carbono	1,78-1,81
Aramida	1,44

Fonte: Adaptado de MONTEIRO, LOPES, et al., 2011

Assim, são várias as propriedades que caracterizam este material sendo que uma das mais importantes é o seu baixo custo, a sua abundância e o fato de serem autossustentáveis, baixa densidade, não são prejudiciais à saúde humana, conseguem conservar energia e são biodegradáveis. (Albinante, 2013)

A densidade das fibras vegetais é de aproximadamente 1,4 g/cm³, ou seja, cerca de metade da fibra de vidro, isso faz com que as propriedades das fibras vegetais sejam comparáveis às da fibra sintética. (KHAN et al., 2000).

A utilização de fibras naturais de origem vegetal se torna ainda mais relevante, em razão da enorme variedade de espécies a serem pesquisadas. Diversas fibras vegetais podem ser produzidas em quase todos os países e usualmente são designadas como materiais lignocelulósicos.

A figura 7 apresenta a classificação de fibras lignocelulósicas com grande potencial para uso como componente de reforço em materiais compósitos. (Quinayá, 2017)

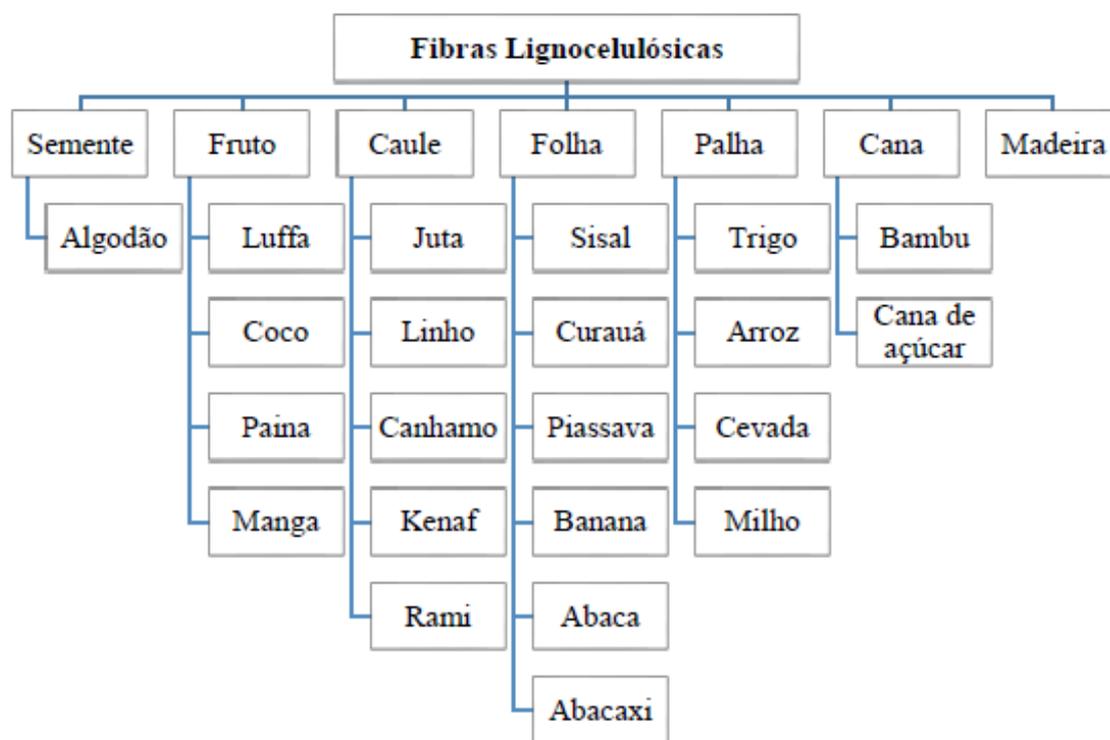


Figura 7 - Classificação de fibras lignocelulósicas segundo a origem.

Fonte: (Quinayá, 2017)

O uso de fibras na fabricação de materiais compósitos vem aumentando, devido às fibras terem boas propriedades para tais utilizações. As fibras atuam como ponte de transferência dos esforços, além impedir à propagação de fissuras. (Pupo, 2017)

As fibras lignocelulósicas são oriundas de fontes renováveis de alta disponibilidade, são neutras em relação a emissão de CO₂ e possuem menor custo. Além disso, exibem vantagens importantes, como baixa densidade, bons atributos de redução de ruído, não-abrasividade e menor consumo de energia para sua obtenção, entre outras. (Nazire e Nancy, 2015)

Na literatura existe uma grande quantidade de estudos do comportamento de diferentes materiais compósitos com fibras lignocelulósicas como sisal (Fonseca et al, 2004), coco (Terrones, 2008), juta (Alsina et al, 2005), bambu (Khalil et al, 2012), piassava e curauá (Almeida, 2007), bagaço de cana-de-açúcar (Monteiro et al, 2004), bananeira (Rao, 2010), pupunha (Bacellar, 2010), algodão (Hou, 2014), entre outras.

Por definição, as fibras são células afiladas e alongadas que fornecem suporte às plantas vasculares. Tais fibras são formadas por celulose e por quantidades significativas de hemiceluloses, lignina, pectina, açúcares livres, amido, proteínas, compostos orgânicos e sais minerais inorgânicos. O teor de celulose, que é o componente de maior proporção, tem grande impacto nas propriedades mecânicas das fibras e pode mudar, dependendo da espécie e da idade da planta.

A composição química das fibras depende da fonte de origem, dependendo de onde são retiradas, elas vão apresentar distintas propriedades químicas e físicas que estão relacionadas com seu papel biológico na planta. (Kozlowisk, 2012).

As fibras são classificadas em: fibras foliares, fibras de sementes e fibras do xilema (madeira) (RAVEN et al., 2001).

E, a composição química das fibras também é diretamente relacionada com a idade, por exemplo, no estágio jovem das árvores de eucalipto, o câmbio vascular produz uma madeira denominada de juvenil. A madeira juvenil tem propriedades não desejáveis para fabricação de papel. E, além disso, este tipo de madeira contém alto teor de lignina, baixo de celulose e produz fibras com menor comprimento. Estas propriedades vão sendo moldadas com a idade. (TOMAZELLO FILHO, 1987).

As características das fibras como, comprimento e largura, controlam diretamente as propriedades do material produzido (que no exemplo do autor anterior foi o papel). E, o comprimento da fibra está relacionado à resistência ao rasgo e às dobras (CARVALHO, 1998; DINWOODIE, 1965).

Outra característica muito importante para as propriedades do material fabricado é a largura da fibra. As fibras mais largas produzem um material com resistência diminuta ao ar, volume específico aparente maior e acentuada resistência ao rasgo. A espessura da parede é uma característica anatômica relevante da fibra e frequentemente está relacionada à rigidez. As fibras que detêm maior espessura de parede têm maior tendência a sofrer maior desfibrilamento no processo de refino, o que acentua o potencial de ligações interfibrilares e, por conseguinte a resistência à tração do material. (CARVALHO et al., 1998).

2.2.1 Fibra De Bambu

O bambu é uma gramínea arborescente gigante, pertencente à família Gramineae (Poaceae) e à subfamília Bambusoideae divididos basicamente em dois grupos, os bambus herbáceos, parecidos com arbustos, e os bambus lenhosos parecidos com árvores. (Targa, 2011)

De acordo com Ahmad (2000), as propriedades físicas e mecânicas do bambu são diretamente relacionadas a espécie, terra, manejo, clima, técnicas de corte, posição dos colmos, idade, umidade, nós e internos e biodegradação.

O nome científico é *Bambusa vulgaris*, *Bambusa* é o gênero do bambu e *vulgaris* é a espécie. O bambu possui várias finalidades as principais são como planta ornamental e como material estrutural na construção civil. (Rambo, 2006)

As fibras do bambu têm potencial para uso em compósitos de matriz polimérica com ou sem adição de cargas minerais, passando ou não por tratamentos superficiais, concorrendo com fibras usualmente utilizadas como: linho, sisal e curauá, na produção de produtos para as indústrias automotivas, aeroespacial, eletroeletrônica, náutica, embalagens, dentre outras. (Targa, 2011)

A resistência do bambu está relacionada a fatores como: à espécie, às características do solo e do clima, ao teor de umidade no interior do bambu e à idade em que os colmos são extraídos (Oliveira, 2013).

O bambu é composto de (Vasconcellos, 2004):

- Vasos condutores: vasos que transportam a água e a seiva que são distribuídos por todas as partes do bambu;
- Fibras: células mais rígidas que ficam situadas ao redor dos vasos condutores. São as fibras que imprimem resistência ao bambu.
- Parênquima: são as células que completam o espaço restante da parede do colmo.
- Lignina: é uma substância que une todos esses elementos e confere rigidez, resistência e impermeabilidade.

A análise multidimensional, executada por diversas técnicas de microscopia, corrobora com a compreensão do arranjo desses materiais desde a identificação e morfologia dos tecidos e cálculos de frações volumétricas até as distribuições de suas células e a análise da presença de componentes químicos na sua composição (Figura 8). (Fluentes, 2011)

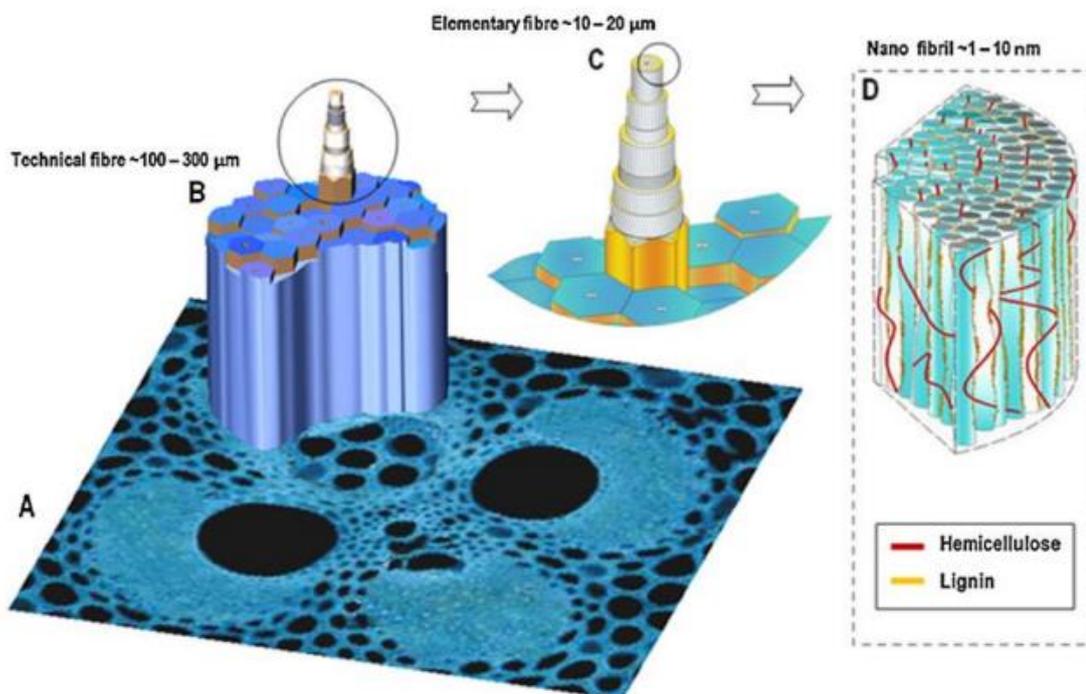


Figura 8 - Diagrama esquemático da estrutura de uma fibra de bambu.

Fonte: (Fluentes, 2011)

O MEV é utilizado com a finalidade de efetuar o exame de superfície das amostras, sendo que também é possível visualizar a superfície internas das amostras desde que a amostra seja fraturada e exposta. (Fluentes, 2011)

A gama de aplicação do microscópio eletrônico de varredura inclui desde estudo de organismos inteiros, tecidos e órgãos até visualização in situ de organelas sub celulares. E, em virtude da composição estrutural, os colmos de bambu exibem resistência mecânica elevada, flexibilidade e leveza. Essa composição varia com a espécie e diâmetro dos colmos. (Fluentes, 2011)

Os componentes mais relevantes dos colmos de bambu são os feixes vasculares que são envoltos por células de parênquima. Um feixe vascular é aumentado 80x (figura 9), para mostrar o feixe fibrovascular (1), xilema (2), cordão de esclerênquima (3), espaço intercelular (4) e o floema (5). (Ahmad, 2000)

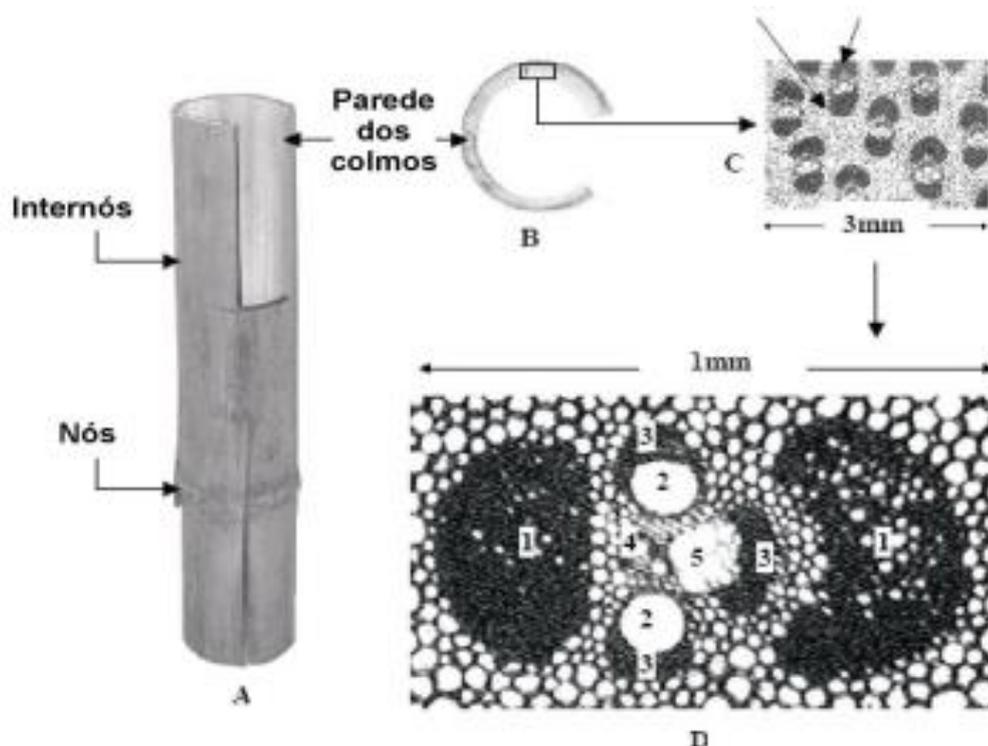


Figura 9 - Estrutura anômica do bambu

Fonte: Ahmad (2000)

O tecido parenquimatoso estende-se pela maior parte do bambu, em média exibem-se na proporção de 52%. (LIESE, 1992). Ele envolve os feixes fibrovasculares, e uma pequena parte atravessa os feixes. No colmo de bambu a proporção de parênquima na base é cerca de 60% e aproximadamente de 40% no topo, aumentando gradualmente desde a camada externa até a camada interna. A função do tecido é armazenar água e nutrientes.

As células do parênquima formam o tecido de armazenamento da planta e podem conter significativa quantidade de amido. Segundo Liese e Grover citados por Liese (1998), o teor de água do colmo é mais elevado na base do que no topo. Isso ocorre devido à diferença de quantidade de parênquima presente nessas regiões. A capacidade de reter água do colmo também varia com a posição longitudinal e está correlacionada com a quantidade de parênquima existente em cada posição.

Dentre as funções do parênquima, ressalta-se o armazenamento de grânulos de amido (Figura 10), os quais oferecem energia necessária para o desenvolvimento dos colmos. (AZZINI *et al*, 2000).

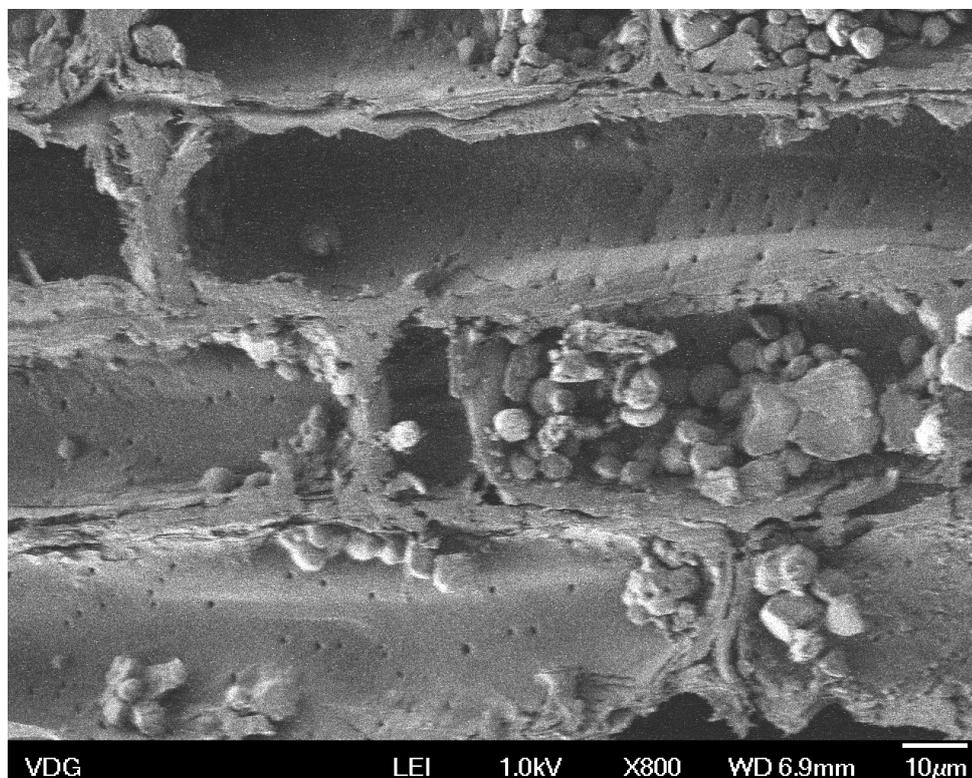


Figura 10 - Células do parênquima contendo grânulos de amido

Fonte: Martins (2016)

Esse tecido é composto por células vivas que são constituídas apenas parede primária, e explodem durante a perda de água, camuflando assim os resultados da retratibilidade (variação dimensional). E a baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada a quantidade deste tipo de tecido (Pereira *et al*, 2008).

Além disso, o bambu detém uma estrutura anatômica que lhe fornece resistência mecânica e flexibilidade por consequência das altas concentrações de fibras na região externa e, também, pelas altas concentrações de vasos e células de parênquima na região interna. (Liese, 2002)

A matriz vegetal da fibra é composta por celulose, hemicelulose e lignina, e por quantidades inferiores de substâncias como proteínas, cinzas, pectina, lipídios, ácidos fenólicos e pigmentos. Estes constituintes em maior quantidade estão presentes em todas as células da matriz vegetal. A célula vegetal é envolta por uma parede celular primária e é desenvolvida uma parede secundária que imprime uma maior resistência a célula. (Youssefian *et al.*, 2015).

A celulose, que constitui cerca de 55% da matriz vegetal, é um polímero formado por monômeros de β -(1 \rightarrow 4)- D-glucopiranosose dispostos em uma conformação linear. (Abdul Khalil *et al.*, 2012). Forças intermoleculares formam as cadeias de celulose, resultando nas microfibrilas, que constituem as fibras. As microfibrilas podem exibir uma estrutura cristalina, quando as hidroxilas das cadeias realizam ligações de hidrogênio umas com as outras de forma extremamente ordenada, ou podem exibir uma estrutura amorfa quando estas hidroxilas estão dispostas de forma desordenada. Assim, a disposição dos grupos hidroxilas nas microfibrilas é um fator determinante resistência mecânica da estrutura (Youssefian *et al.*, 2015).

A lignina compõe cerca de 25% da matriz vegetal, contribuindo também para a resistência e dureza acentuada do bambu, tendo concentração variada de acordo com os tipos e funções das células. Dependendo da forma como estão dispostas, podem gerar tipos de lignina com estruturas diferentes, sendo todas amorfas e hidrofóbicas, com variação em suas propriedades físicas (Peng *et al.*, 2012).

A hemicelulose (Figura 1) é um polímero formado por monossacarídeos contendo de 5 a 6 carbonos. É composto por a glicose, xilose, arabinose, galactose e manose. (Ji *et al.*, 2013)

Possui estrutura composta por uma cadeia ramificada e ausente de cristalinidade, localiza-se na parede celular primária, se interligando por pontes de hidrogênio nas microfibrilas de celulose, unindo-as. (Ji *et al.*, 2013)

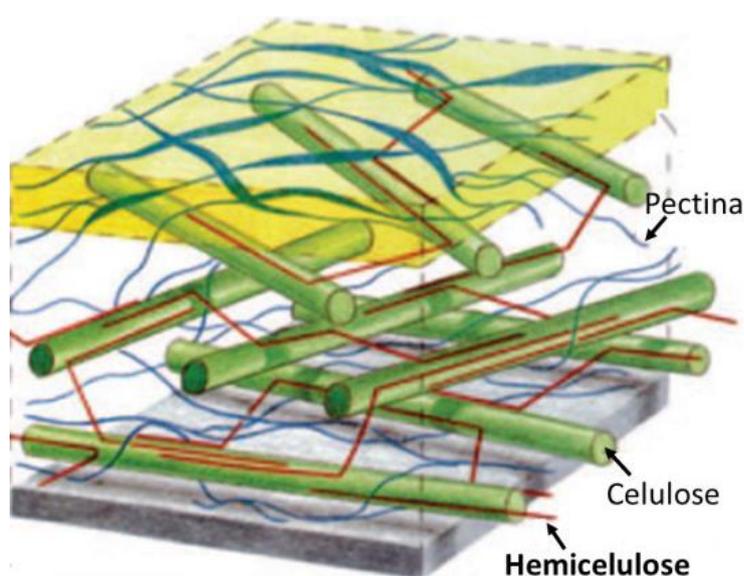


Figura 11 - Localização da Hemicelulose na parede celular.

Fonte: Adaptado de SCHELLER; ULVSKOV (2010).

O bambu pode ser apontado como uma real fonte sustentável, já que une três pilares da sustentabilidade: ambiental, social e econômico. Esse material é tido como uma das maiores fontes renováveis de biomassa, podendo ser um substituto para a madeira. (MARINHO, 2012).

Os compósitos de laminados de bambus podem ser considerados compósitos fibrosos reforçados por fibras contínuas e podem ser produzidos tanto de maneira unidirecional quanto bidirecional. (NETO E PARDINI, 2006)

2.3 Resinas Poliméricas

Para a fabricação de materiais compósitos é necessário o uso de resinas para unificar as partículas e as resinas mais utilizadas são as sintéticas. No entanto, estas resinas sintéticas geram problemas a saúde dos trabalhadores e estão associadas à emissão de poluentes a atmosfera durante todo o tempo de vida do compósito. Assim sendo, busca-se utilizar produtos biodegradáveis, não poluentes e que são oriundos de matéria prima renovável (SILVA, 2015).

2.3.1 Poliuretano À Base De Óleo Da Mamona

Há disponível no mercado uma resina oriunda de fonte renovável que é a base de óleo da mamona. Essa resina é constituída de dois elementos: o poliól, proveniente da planta *Ricinus communis*, e o pré-polímero, oriundo do petróleo, que quando associados resultam em uma reação de polimerização, formando assim o poliuretano. (DIAS, 2005).

O óleo de mamona, oriundo da mamona, um arbusto popular em todo o mundo especialmente nas regiões tropicais, é usado na obtenção de um polímero com propriedades fantásticas conhecido como Poliuretano, que exhibe caráter biodegradável, atenuando um dos grandes problemas que é o lixo, já que os plásticos possuem período de degradação extremamente longo, cerca de 100 a 450 anos, dependendo do material. O Poliuretano de óleo de mamona tem ganhado reconhecimento internacional como biomaterial, por possuir compatibilidade com tecidos vivos, e recentemente tem sido utilizado na medicina para fabricação de próteses. (Mussi-Dias, 2017)

Os poliuretanos tiveram o seu desenvolvimento a partir de 1930, sendo um dos pioneiros o químico alemão Otto Bayer. Desde então obtiveram um grande crescimento em produção e consumo e na aplicabilidade. Nas últimas décadas, o desenvolvimento dos poliuretanos tem enfoque ambiental, com produtos com baixo nível de emissão de compostos orgânicos voláteis, utilização de polióis derivadas de óleos vegetais como o óleo de mamona e da reciclagem. (Sharmin *et al*, 2015)

Assim sendo, o poliuretano pode ser definido como um polímero de rearranjo produzido por meio da polimerização de dois ou mais isocianatos com um álcool polifuncional (poliol). Na figura 12 é possível observar a síntese de poliuretano utilizando os monômeros mais utilizados na indústria que são o di-isocianato de parafenileno e o etilenoglicol. (Da silva, 2003)

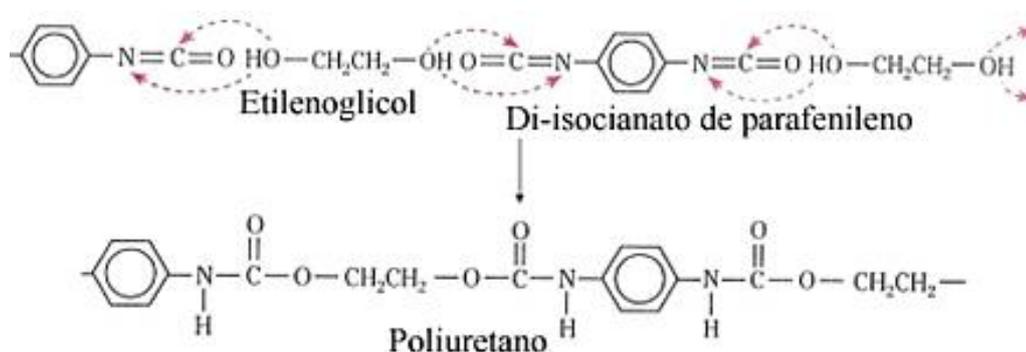


Figura 12 - Síntese de poliuretano a partir de di-isocianato de parafenileno e etilenoglicol

Fonte: (adaptado de Da silva, 2003)

As propriedades dos poliuretanos são afetadas diretamente pelo isocianato e poliól utilizados na reação, sendo que o isocianato atribui rigidez à cadeia por meio dos grupos uretana e o poliól fornece flexibilidade por meio da cadeia carbônica. Assim, propriedades como o módulo de elasticidade, tenacidade e Temperatura de transição vítrea podem ser reguladas através da quantidade relativa dos reagentes utilizados. (Bertolini, 2011)

Além disso, segundo Vilar (1994), em virtude do grande número de reagentes que podem ser utilizados e da proporção de utilização destes, os poliuretanos podem ser fabricados em diversas formas: rígido, flexível, borrachoso e na forma de espumas.

2.4 Aplicações – Materiais Compósitos

Compósitos é sinônimo de produtos feitos sob medida. Optar pela utilização de um compósito é ter disponível possibilidades de solucionar problemas de engenharia com um produto feito sob medida, isto é, um produto fabricado na medida exata de sua necessidade. (Chawla, 1987).

Nos últimos anos tem ocorrido um aumento do interesse da indústria aeronáutica, automotiva, moveleira e de construção civil pela utilização de compósitos poliméricos que façam uso da biomassa vegetal como reforço de matrizes poliméricas. (Teuber *et al*, 2016)

Os compósitos utilizando fibras naturais são produtos reconhecidos em vários lugares do mundo. No entanto, no Brasil, sua utilização é restrita, em razão da falta de políticas que estimulem a expansão científica e exploração de informações relativo a suas estruturas e propriedades, para sustentar estudos de reaproveitamento e continuidade a pesquisas, tendo ênfase em determinado material e produto. As fibras lignocelulósicas possuem a característica de apresentar elevada relação entre comprimento e espessura contribuindo no processo de fabricação para painéis de OSB. (Teuber *et al*, 2016)

2.4.1 Uso De Resíduos Na Produção De Materiais Compósitos

Cada vez mais, há uma necessidade de disseminação de soluções sustentáveis com a finalidade de criar repercussão a mundial e conseqüentemente estimular mudanças nos comportamentos, não somente das indústrias, mas também de cada consumidor. Os novos materiais nascem de estudos impulsionados por uma preocupação, aliada a educação ambiental, numa sociedade acostumada a consumir materiais como o plástico, um material proveniente de recursos não renováveis ou esgotáveis, como o petróleo. (NIAOUNAKIS, 2015).

A preocupação com o meio ambiente é uma imposição de uma sociedade filha da industrialização, que tomou posse de cada um fazendo com que esta não seja parte da vida, mas sim a vida num sentido amplo. (Schmid, 1996).

Entre os mais diversos setores da sociedade, o interesse no uso de produtos de origem vegetal, com um caráter biodegradável tem crescido cada vez mais. (CSC, 2016)

Sendo assim as empresas e indústrias são pressionadas a desenvolver soluções e políticas que despertem para o problema e a consciencializar os consumidores fazendo com que estimule a mudança de hábitos, no que se refere a aquisição de produtos e na seleção, onde estarão presentes preocupações ambientais relativo à compra dos mesmos. (MELO, 2012).

Muitas empresas começaram a incluir o meio ambiente como uma estratégia de negócio gerando um novo paradigma ambiental, definido por atividades de marketing que garantem não só uma real preocupação com a economia, mas também com os objetivos sociais e ambientais da mesma. (VARADARAJAN, 1992)

Ao observar os materiais utilizados, nas mais diversas áreas, compreendemos que ainda há um longo percurso de modo a otimizar essa utilização, de forma a que o impacto negativo no ambiente reduza de modo significativo. (MALLMANN, 2017)

O problema aumenta ainda mais quando se fala do destino que é dado a muitos destes materiais, não finalizando o seu ciclo de vida na reciclagem, muito destes resíduos vão para aterros e outra parte significativa termina nos oceanos. (MALLMANN, 2017)

2.4.1.1 Resíduos Sólidos

Segundo a Resolução CONAMA (2002), o resíduo sólido é definido como um material remanescente oriundo de um processo produtivo. E, além disso, como nos assegura a ABNT (2004), o resíduo sólido é o material ou o produto no estado sólido e semi-sólido, proveniente de práticas de natureza industrial, doméstica, hospitalar, agrícola, comercial, de serviços e de varrição, em que sua constituição não permite seu escoamento livre. Assim, se faz necessária a gestão desse resíduo.

A prevenção ou, a não geração de resíduos é uma definição que tem por objetivo colaborar com a gestão resíduos remanescentes e para a proteção dos recursos naturais, tendo em vista que o foco principal é a redução de impactos ambientais afim de evitá-los no futuro. (GONÇALVES *et al*, 2015).

Assim, a utilização como reforço em compósito, que podem ser reaproveitáveis e que são considerados como resíduos inutilizáveis ao lixo, minimiza três efeitos ambientais: o aproveitamento abusivo de recursos naturais, de coleta cíclica sem os cuidados necessários e de alojamentos maiores para o armazenamento de tal material remanescente (ROSA *et al*, 2012).

Diante da associação de necessidades de diminuição das emissões de gás carbônico e aproveitamento de resíduos de qualquer natureza no ramo das atividades da construção civil, vem sendo desenvolvidas pesquisas científicas de novos materiais com matérias primas de fontes renováveis, menor custo, e igual ou superior características físico-mecânicas de materiais convencionais. (LAHR *et al.*, 2015).

A respeito da utilização dos resíduos como matéria prima para fabricação de materiais compósitos, Ferreira (2013) desenvolveu painéis de partículas de *Eucalyptus saligna* e casca de macadâmia, percebeu-se que o painel não possui boa resistência mecânica e estabilidade dimensional por meio do ensaio de teor de umidade. E, por meio dos ensaios físicos e mecânicos concluiu que o material não pode ser utilizado em solicitações que necessitam de alta resistência mecânica, por exemplo, para a indústria moveleira. Porém, por apresentar um aspecto agradável, quando comparados a similares, poderia ser utilizado como painel decorativo.

Bertolini (2011) utilizou resíduos de pinus e desenvolveu painéis particulados com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Por meio do estudo, conseguiu verificar que é viável a utilização de resíduos de madeira para a fabricação de painéis particulados sem haja comprometimento do desempenho.

Dacosta *et al.* (2005) desenvolveu painéis de partículas de madeira utilizando resíduo de maravalha e cavaco de Pinus e ureia-formaldeído e obteve resultados satisfatórios quanto ao desempenho do material nos ensaios físicos e mecânicos quando comparado as normas vigentes.

Calegari *et al.* (2007), desenvolveu painéis de partículas de bambu e madeira com adesivo ureia-formaldeído, porém nenhum dos painéis fabricados atingiu os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas A208.1 (1987) e DIN 68761 (1971) utilizadas no estudo.

2.4.2 Compósitos Poliméricos Reforçados Com Fibras Naturais

Materiais compósitos de matriz polimérica podem ser desenvolvidos utilizando fibras naturais, em substituição de fibras de origem fóssil (FARUK *et al.*, 2012). Há diversos estudos utilizando fibras lignocelulósicas devido a sua reduzida massa específica, resistência mecânica acentuada e baixo custo de processamento e produção, como alternativa à utilização de fibra sintéticas. (JOHN; THOMAS, 2008).

E, além disso estudos estão sendo feitos sobre compósitos que utilizam matrizes baseadas em polímeros renováveis (THAKUR *et al*, 2017) Observa-se um crescente interesse no desenvolvimento dos chamados “biocompósitos” conforme é possível observar na figura 13.

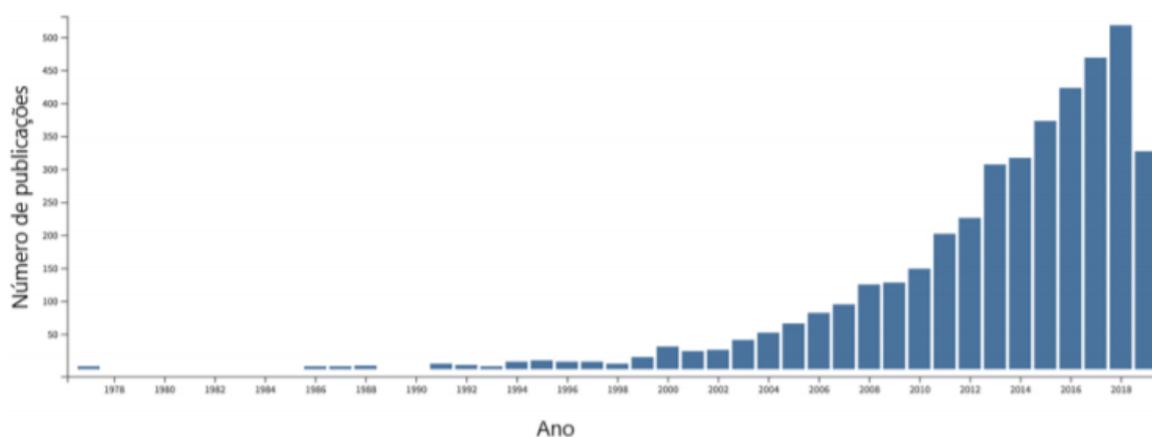


Figura 13 - Evolução do número de publicações por ano com a palavra-chave “biocomposite” no banco de dados da KSI knowledge.

Fonte: (WEB OF SCIENCE, 2019)

As fibras vegetais mais utilizadas como material de reforço em compósitos poliméricos são as fibras de sisal, coco, juta e banana, além de fibras de madeira, bagaço e bambu (Rowell *et al.*, 1997).

A capacidade de absorção da humidade dos compósitos reforçados por fibras naturais tem sido um agente limitador para o seu desenvolvimento, tendo em vista que esta absorção aumenta com o aumento do teor de fibra e com o aumento da sua temperatura. É, ainda, influenciada pelos tratamentos efetuados às fibras e, também, pela organização das mesmas. Esta característica está relacionada ao inchamento dos compósitos, à redução do seu desempenho mecânico com exceção da energia de impacto. (Hargitai *et al*, 2008)

Compósitos reforçados com fibras de origem natural têm sido submetidos a muitas transformações. Estes materiais têm se tornado mais e mais conforme novas processos e composições têm sido descobertos, desenvolvidos e conseqüentemente aplicados. (Faruk, 2012)

2.4.3 Painéis De Compósitos Poliméricos Lignocelulósicos

Ventura (2009) afirma que o grupo mais importante de compósitos no que se refere ao desempenho e aplicações é o de matriz polimérica. Segundo a pesquisadora, os produtos industriais produzidos utilizando matriz polimérica exibem uma capacidade alta de minimizar vibrações sendo muito parecidas com produtos fabricados com ferro fundido. Esta característica é muito interessante para aplicações aeronáuticas, aeroespaciais e na área automotiva.

Dos diversos painéis de madeira disponíveis no mercado, como compensados, painéis MDF e MDP, painéis OSB, dentre outros, todos podem ser fabricados inteiramente de bambu, atingindo melhores propriedades do que os feitos com madeira. (Hidalgo-López, 2003)

Os painéis de bambu, por exemplo, podem ser fabricados em diversas formas como: fibras curtas, ripas, fibras longas, partículas, laminados, “esteiras” entre outros. Dependendo dos elementos constituintes e de sua configuração, estes painéis podem ser considerados como “estruturais”, quando seu uso requer alta resistência mecânica, como vigas, paredes e pisos, ou “não-estruturais” quando usados com finalidade decorativa, como revestimentos de alguns painéis e elementos estruturais, como “painéis de esteira” (ou esterilla em espanhol), pisos, chapas e vigas de “bambu trançado prensado” (Strand Woven Bamboo ou SWB). (Hidalgo-López, 2003)

Os painéis de partículas de média densidade são classificados, de acordo com a NBR 14810 nos seguintes tipos:

- a) P2 - Painéis não estruturais para uso interno em condições secas;
- b) P3 - Painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
- c) P4 - Painéis estruturais para uso em condições secas;
- d) P5 - Painéis estruturais para uso em condições úmidas;
- e) P6 - Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas; e
- f) P7- Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições úmidas.

A tabela 3 apresenta um resumo com os tipos de painéis e seus respectivos requisitos normativos segundo as NBR 14810: 1 e 2 (ABNT, 2013)

Tabela 2 - Tipos de painéis e requisitos.

Tipo	Uso estrutural	Condições de uso	I (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)
P2	Não	Internas secas	18	11	1800	0,40
P3	Não	Úmidas	17	15	2050	0,45
P4	Sim	Secas	19	16	2300	0,40
P5	Sim	Úmidas	13	18	2550	0,45
P6	Sim	Severas secas	16	20	3150	0,60
P7	Sim	Severas úmidas	10	22	3350	0,75

Fonte: NBR 14810

2.5 OSB

Segundo a norma europeia EN 300 (2006), o OSB é definido como um painel de múltiplas camadas constituídas de “strands”, tiras de madeira, com um comprimento maior que 50 mm e uma espessura menor que 2 mm, ligadas por um adesivo.

Na camada ou camadas de centro, podem ser posicionados aleatoriamente, ou alinhados, normalmente na direção perpendicular às das camadas externas. (Figura 14)

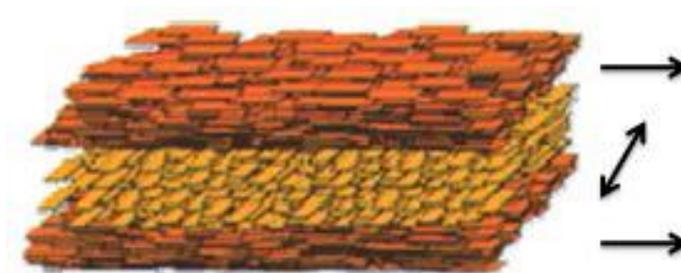


Figura 14 - Orientação das partículas no painel OSB

Fonte: (Saldanha, 2004)

De acordo com a Structural Board Association (SBA), os painéis de OSB são compostos de três a cinco camadas, o arranjo longitudinal dos strands nas camadas de superfície oferece um incremento na resistência e na rigidez do painel em direção do alinhamento, conquanto, verifica-se uma diminuição no sentido perpendicular ao comprimento do painel.

As chapas OSB (Oriented Strand Board) são de segunda geração da chapa estrutural chamada "waferboard" criada pelo Dr. James D'Arcy Clarke da U.S. Potlatch Corporation em 1954. Ele descobriu que processando toras de *Populus sp.* em partículas finas "wafers" e coladas com resinas fenólicas termo-reativas, obtinha-se uma chapa similar em ao compensado. Um grupo de empresários do Canadá, em 1962, adquiriu a patente da chapa "waferboard" e desenvolveu uma fábrica. (Saldanha, 2004)

A comercialização do OSB teve muito sucesso em virtude do preço competitivo em relação ao compensado canadense. No final da década de 70 surgiram as primeiras plantas específicas para o OSB. (Saldanha, 2004)

As diferenças principais entre chapas "waferboard" e OSB residem na dimensão das partículas usada, em que as "wafers" em torno de 40 x40 mm e as "strands", usadas no OSB, são em torno de 80-150 mm por 25 mm de largura.

Outra diferença está na orientação e formação do colchão. Nas chapas "waferboard" as partículas são distribuídas aleatoriamente no processo de formação do colchão, numa camada homogênea. (Janssens, 1998)

Nas chapas OSB ocorre à formação de camadas de partículas "strands", em que as camadas internas possuem alinhamento perpendicular à direção de formação das camadas externas. Proporcionando uma melhora significativa na estabilidade dimensional e resistência mecânica nas chapas OSB. (Janssens, 1998)

Os adesivos principais usados na fabricação de OSB são Fenol-Formaldeído (FF), Isocianatos (PMDI) e Melamina-Ureia-Formaldeído (MUF). Todas estas resinas imprimem uma medida de resistência à umidade do composto (WPIF, 2011).

As resinas usadas na fabricação dos painéis OSB são de dois tipos: para aplicação interna e externa. As resinas solúveis em água são principalmente utilizadas em painéis de uso interior (paredes, armários e outros móveis). As externas são curadas durante o processo de alta pressão e temperatura, são insolúveis e à prova d'água. (EPF, 2011).

Classificação dos painéis OSB em função da sua aplicação, segundo a EN 300 (2006).

- OSB / 1: Painéis para uso estrutural e interior em condições secas;
- OSB / 2: Painéis estruturais para uso em condições secas;
- OSB / 3: Painéis estruturais para uso em condições de ambiente úmido;
- OSB / 4: Painéis estruturais de alta especificação para ambiente úmido.

O OSB é adaptável, suas variadas aplicações crescem à medida que mais indústrias descobrem seu potencial. Algumas das utilizações mais comuns são: Forros de telhado; Vigas e traves; Mobiliário decorativo; Estruturas de madeira de edifícios; Decoração de lojas; Estruturas de sofás; Construção de sobrelojas/ pavimentos sobre-elevados; Construção de stands; Embalagens, contentores e paletes; Estruturas de paredes; Pavimentos; Muros, tabiques, barreiras e vedações; Estruturas interiores de veículos; Divisórias interiores de anexos e edifícios agrícolas; formas de concreto e revestimentos antiderrapantes (LP BRASIL, 2011).

Em geral, a indústria da construção civil está habituada com este material, sua importância e aspecto inconfundível. Contudo, estudos revelam que persiste ainda um desconhecimento das potencialidades do OSB, não sendo, por isso, aproveitado devidamente como um dos produtos de construção dos mais econômicos e versáteis dos últimos tempos. (EPF, 2011). A figura 15 mostra algumas aplicações domésticas do OSB.

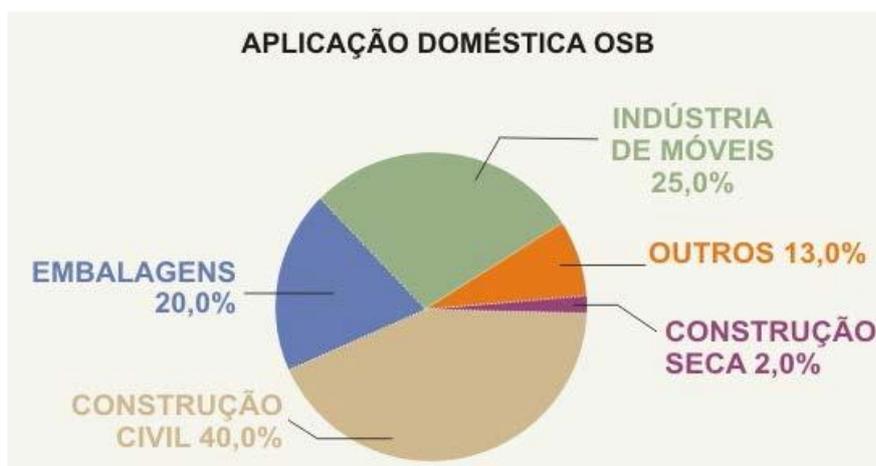


Figura 15 - Aplicação doméstica dos painéis OSB.

Fonte: Abipa, 2011

A utilização de fibras naturais como reforço em materiais poliméricos não é um assunto novo em pesquisas, no entanto, algumas fibras, como Bambu, ainda não são aproveitadas como poderiam e, também, existem diversas formas de aproveitamento deste material a serem estudadas.

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento da parte experimental do trabalho, foram construídos painéis homogêneos utilizando resíduos de uma indústria de palitos de bambu (figura 16) localizada no distrito de barcelos que é vinculado ao município de São João da barra – Rj.



Figura 16 - Resíduos Da Fabricação De Palito De Bambu

Para estabelecer a adesão entre as partículas foi utilizada a resina poliuretana derivada do óleo de mamona, fornecida gentilmente pela IMPERVEG.

A resina impermeabilizante a base de poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona), do tipo bi-componente, composta pelo polioliol com densidade de 0,96 g/cm³, componente derivado do óleo vegetal, e pelo isocianato polifuncional (pré-polímero) com densidade de 1,22 g/cm³. (Figura 17)



Figura 17 - Resina Poliuretana À Base De Mamona

A utilização da resina, assim como a proporção entre seus componentes, se justifica pelos excelentes resultados obtidos em estudos anteriores realizados com painéis derivados de madeira (BERTOLINI, 2011; SOUZA, 2012; VARANDA, 2012), e, também, pelas características de renovabilidade do poliol.

Os painéis de partículas orientadas (OSB) utilizados nesse trabalho foram adquiridos na empresa Leroy Merlin localizada na cidade do Rio de Janeiro (RJ) do fabricante LP Brasil, obtidos aleatoriamente de seu estoque. As amostras foram retiradas de painéis comerciais (1,20mx2,40mx11,1mm), produzidos com madeira de Pinus.



Figura 18 - OSB Comercial

Fonte: https://www.leroymerlin.com.br/chapa-de-madeira-osb-amarelo-1,20mx2,40mx11,1mm-apa-plus-lp-brasil_89138294.

3.2 Métodos

A legislação nacional exige que sejam feitos alguns critérios para que o material seja utilizado com a mesma finalidade que o OSB. Para isso utilizamos as normas NBR 14810-2 (2013), ASTM D792 e ASTM D6110 (2004), NP EN 312-2 (2000) e CS 236-66 (CS, 1968).

3.2.1 – Caracterização das Fibras

3.2.1.1 – Determinação da densidade das Fibras

A massa específica real das fibras foi medida através do ensaio de densidade relativa dos líquidos, pelo método do picnômetro segundo a ASTM D792. O instrumento utilizado para determinar a densidade, foi o picnômetro. (Figura 19) O instrumento possui uma abertura suficientemente larga e tampa muito bem esmerilhada, provida de um orifício longitudinal, tem baixo coeficiente de dilatação. A água é utilizada como substância padrão à temperatura ambiente. (25 °C).



Figura 19 - Picnômetro

Para determinação da densidade aparente foi utilizada a Equação 1:

$$d = \frac{P2-P1}{(P4-P1)-(P3-P2)} \quad (1)$$

Em que:

P1 = Peso do picnômetro

P2 = Peso do picnômetro + amostra

P3 = Peso do picnômetro + amostra + água

P4 = peso do picnômetro + água

3.2.1.2 – Caracterização Microestrutural das Fibras

As análises de MEV foram realizadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura da marca Shimadzu, modelo SSX-550, que se encontra disponível no LAMAV/UENF operando em um intervalo de voltagem de 15-20 kV para o feixe de elétrons. (Figura 20)

Nesta análise uma pequena amostra de fibra de bambu foi fixada, de forma transversal e longitudinal, em um suporte metálico com fita de cobre e metalizada com platina para que a análise estrutural das fibras e suas características individuais fossem feitas.



Figura 20 - Microscópio Eletrônico de Varredura

3.2.2 – Preparação dos Corpos de Prova

Inicialmente, as fibras foram cortadas em comprimentos de aproximadamente 14,5 mm para que pudessem ser acomodadas nas matrizes. Nenhum pré tratamento foi aplicado além do processo de lavagem em água corrente e secagem em estufa por 24 horas a uma temperatura de 80°C.

Depois de cortadas, as fibras foram pesadas em balança semi analítica e separadas em quantidades que representarão 20 e 40% em volume da matriz para que pudessem ser incorporadas como reforço.

Essas proporções foram escolhidas devido às limitações de volumes possíveis de serem incorporadas nas matrizes metálicas que foram utilizadas, já que não comportam volumes acima de 40% de fibras de bambu.

As fibras foram assentadas em formas de camadas embebidas pela resina de poliuretano anteriormente mencionada. Utilizou-se molde metálico inox com dimensões de 152x120x12,5mm, conforme ilustrado na figura 21, para conformação do material. Assim, submetido a uma compressão de 2,5 Ton por aproximadamente 24 h. E, após seu desmolde as placas foram usinadas para obter as medidas necessárias para cada ensaio de acordo com as normas que os regem.



Figura 21 - Preparação dos corpos de prova: seleção dos materiais

Esse método escolhido foi o Hand Lay-up por ser mais adequados para posicionar as fibras sem danificá-las, eliminando o máximo de bolhas retido na resina.

As matrizes foram preparadas de forma que a operação de desmolde fosse facilitada, sem que ocorresse quebras das placas e que fossem evitados vazamentos da fase contínua pela matriz metálica.

O período de pós cura para amostra (Figura 22) com matriz de Poliuretano foi de 10 dias, mantendo temperatura ambiente.



Figura 22 - Preparação dos corpos de prova: Material prensado

Foram usinados, seguindo a norma de cada ensaio respectivo, corpos de provas dos materiais compósitos produzidos com 0, 20 e 40% de bambu além do material OSB utilizado.

3.2.3 – Ensaio físicos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dispõe de normas que estabelecem condições, tolerâncias e as dimensões a serem seguidas para classificação das chapas de compensado, MDF e madeiras aglomeradas, mas até 2020 ainda não versa sobre OSB.

Os materiais desenvolvidos e o OSB foram ensaiados e avaliados em relação à suas propriedades físicas e mecânicas segundo as prescrições das normas NBR 14810-1 e 2, EN-317/1993, EN-310/1993, EN-323/2000, CSA0437.1.93, ASTM D1037, ASTM D-790, ASTM D6110 e ASTM D256.

Para a verificação das propriedades físicas dos materiais foram avaliadas a Densidade (D), o Teor de umidade (U), e o Inchamento após 24h (I). (Figura 23)



Figura 23 - Corpos de provas para os ensaios físicos

3.2.3.1 – Densidade

Para a determinação da densidade dos materiais foram utilizados dez corpos de prova nas dimensões de 50 x 50 mm de cada material, que terão sua espessura aferida no ponto de intersecção das suas diagonais fazendo uso de um micrômetro e as demais medidas serão realizadas utilizando-se um paquímetro, de acordo com o esquema proposto pela C, como mostrado na figura 24.

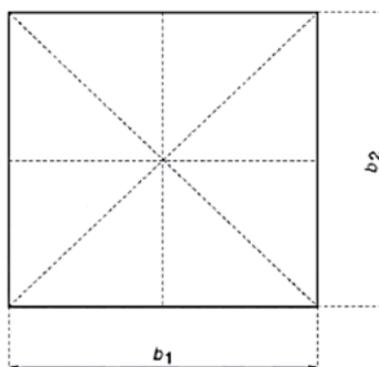


Figura 24: Dimensões dos corpos de provas para o ensaio

Fonte: (ABNT, 2013)

Com base nas dimensões, vão ser calculados os volumes dos corpos de prova com a Equação 2. Utilizando uma balança analítica com resolução de 0,01 g será determinado as respectivas massas e em seguida, a densidade aparente de acordo com a Equação 3.

$$V = b1 \times b2 \times e \quad (2)$$

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

Onde:

D é a densidade do corpo de prova (kg.m⁻³);

M é a massa do corpo de prova (g);

V é o volume do corpo de prova (mm³);

b1 e b2 são as dimensões do corpo de prova (mm); e

e é a espessura do corpo de prova (mm).

3.2.3.2 – Absorção de água

Neste ensaio foram utilizados dez corpos de prova para cada tipo de material com dimensões a e b de aproximadamente 50 x 50 mm, que inicialmente foram pesados em balança analítica com resolução 0,01 g para aferição da massa, e, após 24h de imersão em água destilada com ph= 7 e temperatura de 20°C ± 1, foram pesados novamente para aferição da massa.

A determinação da Absorção de água foi feita utilizando da equação 5, segundo a NBR 14810-2.

$$A = \frac{MU-MS}{MS} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

A é a absorção de água em porcentagem (%);

MU é a massa úmida das partículas (g);

MS é a massa seca das partículas (g).

3.2.3.3 – Inchamento em espessura

Para a determinação de inchamento em espessura, as dimensões dos corpos de prova são aferidas antes e após 24 h de imersão em água destilada, com pH igual a 7 e temperatura de $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. O inchamento em espessura dado em porcentagem é calculado por meio da equação 6 e um total de 10 amostras de cada tratamento foram avaliadas. (NBR 14810-2)

$$I = \frac{E1-E0}{E0} \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

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

E1: Espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado, em milímetros (mm);

E0: Espessura do corpo-de-prova antes da imersão, em milímetros (mm).

3.2.4 – Ensaio Mecânicos

Os ensaios mecânicos realizados para avaliação da resistência dos painéis foram: tração perpendicular, flexão estática para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), ensaio de impacto e arrancamento de parafuso de superfície.

3.2.4.1 – Ensaio de Flexão

Os materiais foram testados sob condições de flexão em um sistema de três pontos. As medições foram realizadas utilizando uma velocidade de 2,6 mm/min, de acordo com a norma ASTM D-790. Os corpos de prova tiveram dimensões de 6x10x125mm.

O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios mecânicos, marca Instron, modelo 5582, disponível no SMMA/LAMAV (Figura 25).



Figura 25 - Ensaio de Flexão sendo executado

Módulo de resistência à flexão estática (MOR)

Foi feita a medição da espessura (E) com um paquímetro e utilizando-se a equação 7 foi calculado o módulo de resistência à flexão (Módulo de ruptura - MOR) do corpo de prova.

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (7)$$

Onde:

MOR é o módulo de resistência à flexão elástica (MPa);

P é a carga de ruptura lida no indicador de cargas (N);

D é a distância entre apoios do aparelho (mm);

B é a largura do corpo de prova (mm); e

E é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova (mm).

Módulo de elasticidade (MOE)

A equação 8 foi utilizada para determinação do módulo de elasticidade (MOE), onde o resultado do ensaio é a média dos resultados dos corpos de prova ensaiados:

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (8)$$

Onde:

MOE é o módulo de elasticidade (N/mm²);

P1 é a carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N);

D é a distância entre os apoios do aparelho (mm);

d é a deflexão, correspondente à carga P1 (mm);

B é a largura do corpo de prova (mm); e

E é a espessura do corpo de prova (mm).

3.2.4.2– Ensaio de tração perpendicular

Ensaio de tração perpendicular ou adesão interna ao plano do material foi realizado de acordo com a norma EN 319/1993 que prescreve a utilização de corpos de prova quadrados, com 50 +/- 1 mm de aresta.

Objetivando a realização desse ensaio de tração perpendicular às fibras (figura), desenvolveu-se um sistema para que fosse possível acoplar a máquina universal de ensaios mecânicos, marca Instron, modelo 5582, disponível no SMMA/LAMAV. (Figura 26).



Figura 26 - Material desenvolvido para execução do ensaio de tração perpendicular

Os corpos de prova foram tracionados até o seu rompimento, indicando o grau de adesão entre as partículas. A velocidade de tração aplicada aos corpos de prova foi de 6 mm/min. A figura 27 exibe os corpos de provas preparados antes do ensaio.

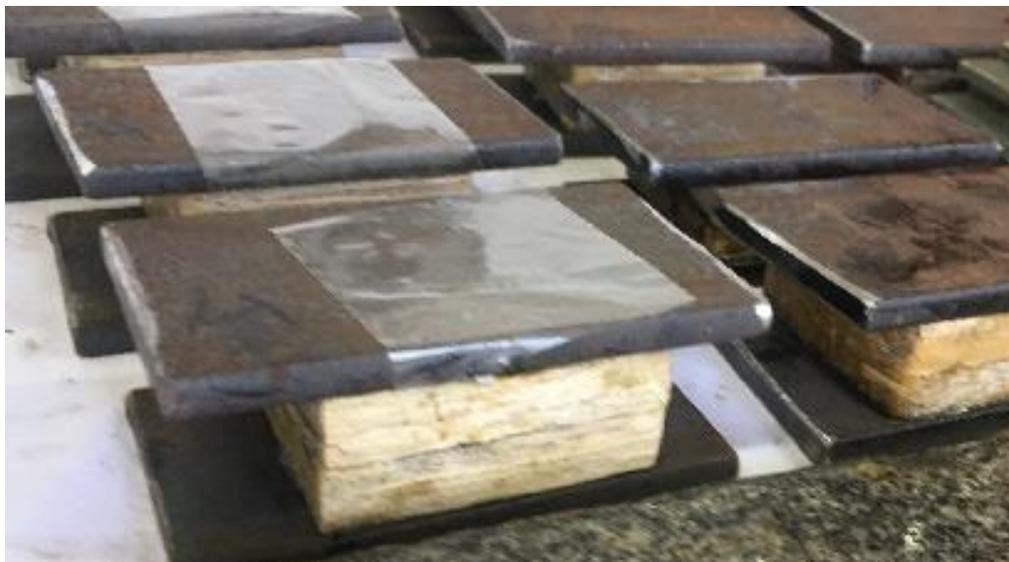


Figura 27 - Corpos de provas: ensaio de tração perpendicular

A resistência a tração perpendicular foi calculada pela Equação abaixo.

$$TP = \frac{F_{m\acute{a}x}}{a \times b} \quad (9)$$

Onde:

TP é a resistência a Tração perpendicular (MPa);

$F_{m\acute{a}x}$ é a carga máxima (N);

A é o comprimento do corpo de prova (m);

b é a largura do corpo de prova (m).

3.2.4.3 – Ensaio de arrancamento de parafuso – Superfície

Para este ensaio, os corpos de provas exibiram dimensões de 150x75 mm. Com o auxílio de furadeira e chave de fenda, um parafuso com espessura de 2,8 mm foi inserido no centro do corpo de prova, ver figura 28, até uma profundidade de 17 mm.

Objetivando a realização desse ensaio de arrancamento de parafuso (figura 28), desenvolveu-se um sistema para que fosse possível acoplar a máquina universal de ensaios mecânicos, marca Instron, modelo 5582, disponível no SMMA/LAMAV.



Figura 28 - Material desenvolvido para execução do ensaio de arrancamento de parafuso

Os corpos de prova para a determinação da resistência ao arrancamento de parafuso apresentaram dimensões nominais de 150 x 75 milímetros.

O furo para a fixação do parafuso foi realizado em furadeira de bancada. A fixação dos parafusos se deu com uma furadeira da marca Bosch, modelo GSR 10,8-2-LI Professional.

A furação e a fixação dos parafusos nos corpos de prova (Figura 29), como também a determinação da resistência ao arrancamento de parafuso foram realizadas conforme a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

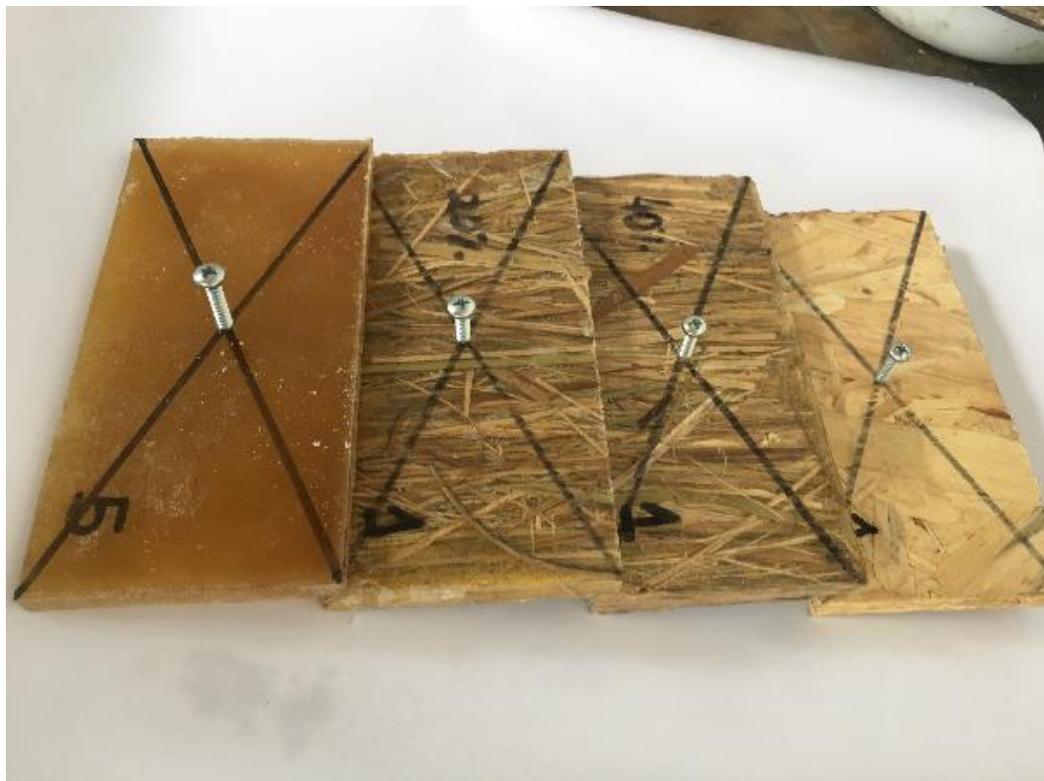


Figura 29 - Corpos de provas: ensaio de arrancamento de parafuso

3.2.4.4– Ensaio De Impacto Charpy

O comportamento dúctil-frágil é caracterizado pelo ensaio de impacto. O ensaio realizou-se por meio de um pêndulo com uma carga aplicada à uma determinada altura em que foi obtido a energia potencial, no corpo de prova, na forma de choque.

As amostras dos compósitos e do OSB foram ensaiadas por impacto do tipo Charpy para analisar a energia absorvida por impacto. Os testes seguiram as dimensões de 12,7 mm de largura, 10 de espessura e 125 de comprimento para o tipo Charpy. (ASTM D6110)

Os corpos foram ensaiados a máquina de impacto modelo XC-50 da marca PANTEC, localizada no LAMAV/UENF. A energia absorvida pelo material correspondeu a diferença entre a energia final e inicial. Por meio da escala, foi possível calcular a energia potencial. (Equação 9)

$$EP = m \cdot g \cdot \Delta h \text{ (J/m)} \quad (9)$$

Em que:

EP = Energia potencial (J/m)

m = massa (g)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

Δh = Variação da altura ($h_f - h_i$)

3.4.5 – Caracterização Microestrutural das Fibras da região da fratura

Após os ensaios, as superfícies de fratura foram observadas em microscopia eletrônica de varredura (MEV). As análises microscópicas das fraturas permitiram caracterizar alguns aspectos, como o tipo de fratura.

3.2.5– Análise térmica

3.2.5.1 – Análise termomecânica (TMA)

Neste ensaio uma sonda de quartzo é disposta sobre a amostra e mede o deslocamento linear da sonda no momento que o material é sujeito a uma variação de temperatura. O movimento da amostra é convertido em sinal elétrico através de um dispositivo e registrado em função da temperatura ou do tempo. O ensaio foi realizado no equipamento Netzsch DIL 402 PC, com uma taxa de aquecimento de $10^\circ C/min$.

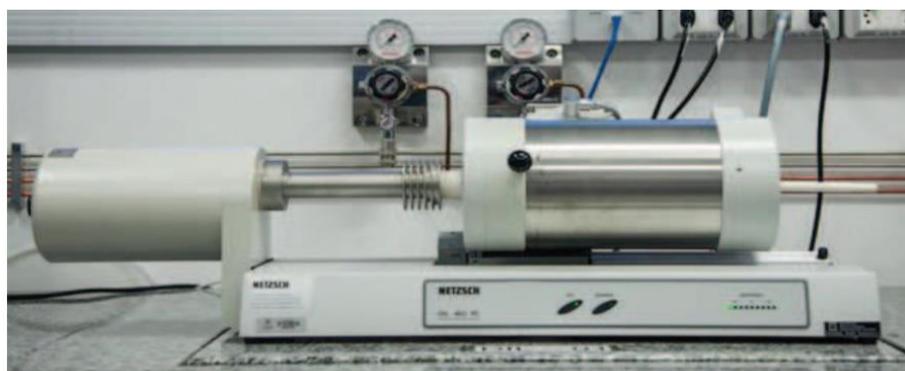


Figura - Analisador Mecânico Dinâmico

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção os resultados obtidos por intermédio dos experimentos são apresentados, analisados e discutidos.

4.1– Caracterização das fibras

A caracterização da fibra é importante para determinação da resistência dos materiais em geral já que os bambus as propriedades das mesmas se distinguem em função da sua espécie, idade e região do colmo.

4.1.1 – Determinação da densidade das fibras

A densidade obtida neste estudo para a fibra de bambu foi de 1,31 g/cm³. De acordo com Mohanty (2005), o valor de densidade relatado pela literatura para fibras vegetais é em torno de 0,7 – 1,4 g/cm, e o Zhou (1981) relatou em seu estudo que os valores de densidade da fibra de bambu normalmente variam entre 0,50 a 0,90 g/cm³.

Conforme mostra a tabela, Costa (2014) obteve o resultado de 1,30 g/cm³ para fibra de bambu. E, ao comparar com a fibra de juta e malva, Cavalcante (2017) obteve o resultado de massa específica é de 1,3 ± 0,5 g/cm³.

Tabela 3 - Diferentes valores de massa específica das espécies de bambu.

Fibra	Densidade (g/cm³)
Zhou (1981)	0,50 a 0,90
Costa (2014)	1,30
Cavalcante (2017)	1,3
PAES et al. (2009)	0,68 a 0,76
RIVERO (2003)	0,58 a 0,79
GHAVAMI E SOLORZANO (1995)	0,80

Fonte: Adaptado Marinho (2012)

Segundo Marinho (2012), o valor mencionado depende da região da parede do colmo que está sendo analisada, isto é, nas paredes internas o valor é menor e vai aumentando gradativamente conforme se aproxima da região externa e, mesmo sendo da mesma espécie a densidade pode não ser igual, alguns autores justificam essas diferenças pelas condições relativas ao clima e ao solo.

4.1.2 – Análise microestrutural das fibras

Quanto à análise micrográfica, a Figura 30 exibe a imagem do MEV onde as fibras de bambu estão em seu estado natural com a superfície do material coberta por uma parede celular que se repete ao longo das fibrilas, sendo possível observar células de lignina e ceras da fibra, que compõe a matriz, além das impurezas. Essa estrutura é basicamente composta de lignina, o que dificulta a adesão posterior com a matriz devido à alta polaridade dos componentes vegetais, consequência da alta quantidade de hidroxilas livres.

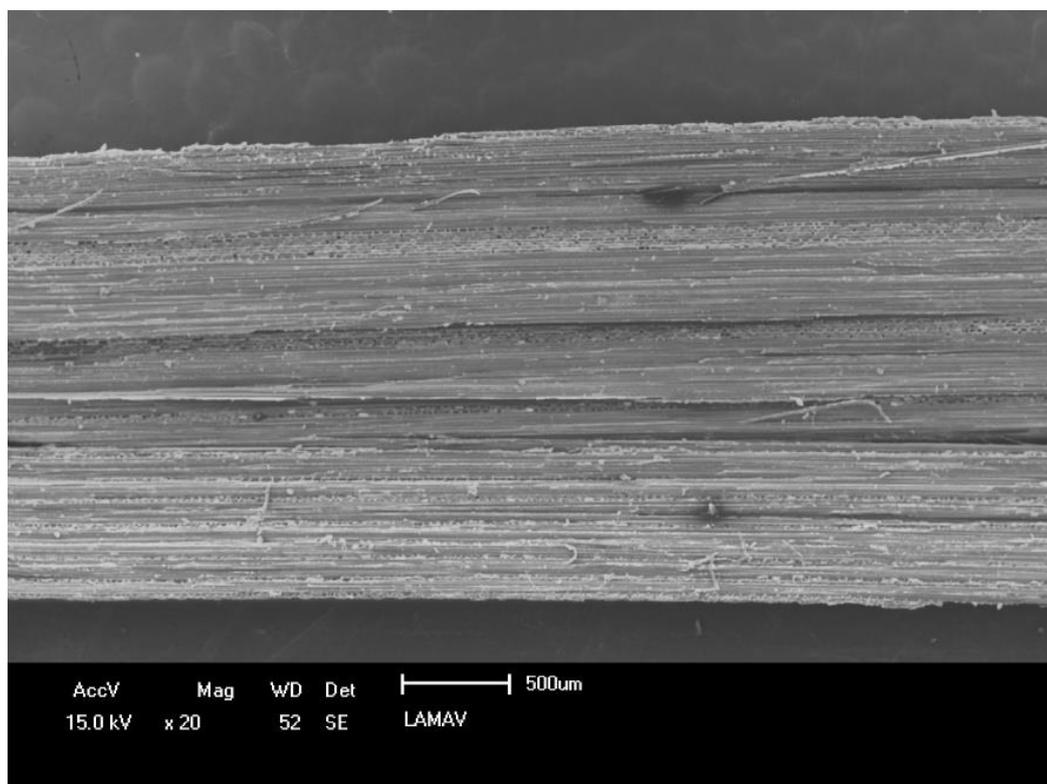


Figura 30 - Fibra de bambu no seu estado natural

Alguns trabalhos revelaram que as propriedades macroestruturais da planta estão relacionadas à sua microestrutura. (Mattos et al, 2008). As imagens obtidas no MEV, apresentam a microestrutura do bambu que é composta por três principais tipos: células fibrosas, células de parênquima e elementos vasculares.

Por meio da análise microestrutural do bambu alinhado de forma longitudinal (Figura 31) é possível observar uma rede com estrutura semi-esféricas e, tais redes, de acordo com Liese (1998) são identificadas como células parênquimas e as estruturas semi-esféricas, como amido. Os parênquimas são células que não possuem a mesma dimensão quando comparadas umas com as outras, e isso explica a variação no teor de fibra no colmo (por causa dessas células compostas por celulose). E, quanto ao amido, a quantidade e o tamanho são relacionados com a idade do colmo e consequentemente com a resistência apresentada pelo mesmo.

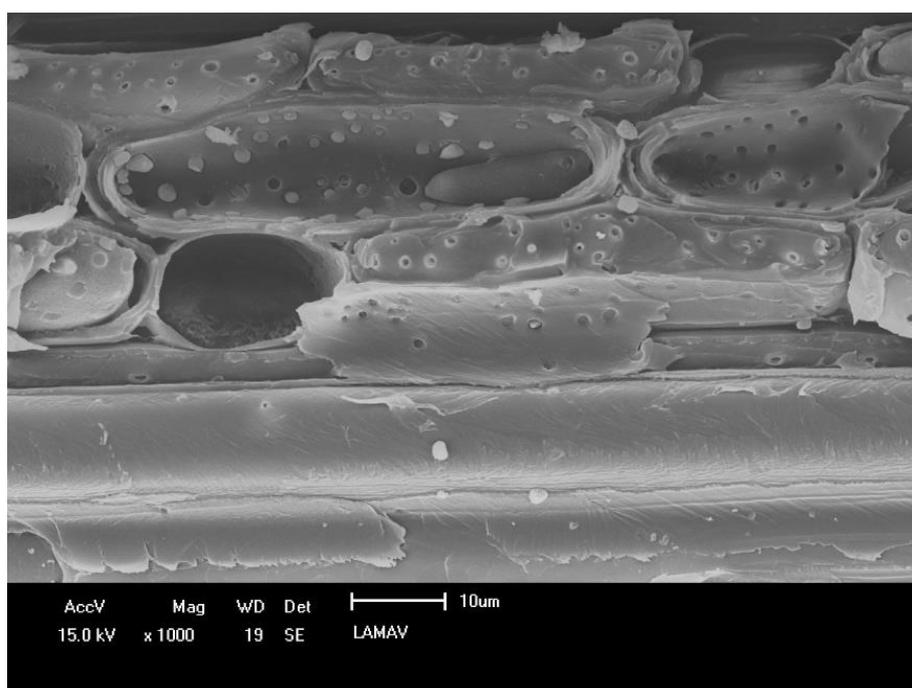


Figura 31 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da seção longitudinal do bambu, (a) células do parênquima; (b) amido.

A função do tecido parenquimatoso, segundo Liese (1998) é armazenar água e nutrientes. Observa-se na figura 32, obtida de uma amostra da fibra de bambu na seção transversal, um tecido constituído de fibras e quantidade significativa de parênquima. E, de acordo com Pereira *et al* (2008), a baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada a quantidade deste tipo de tecido.

Logo, o fato de a amostra possuir uma quantidade relevante deste tecido interfere na estabilidade dimensional, que é uma das vantagens do uso de fibras naturais na fabricação de materiais compósitos.

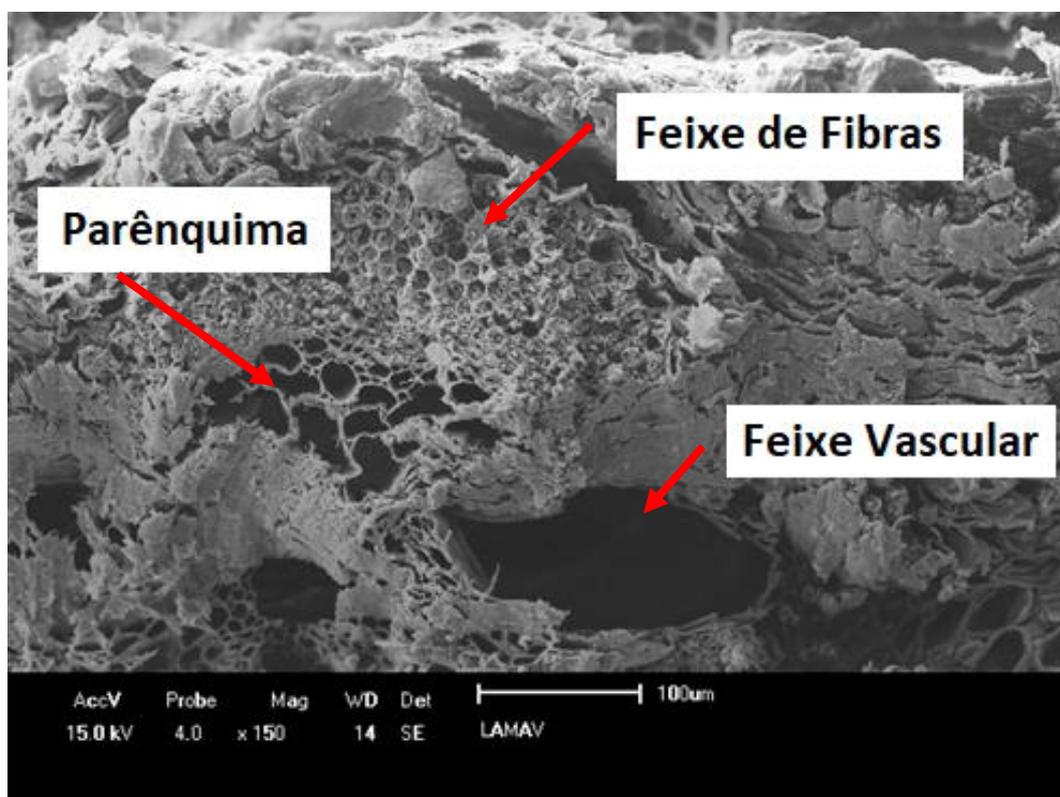


Figura 32 - Análise morfológica da seção transversal de uma amostra da fibra de bambu

4.2 – Ensaios Físicos

A caracterização física dos materiais compósitos seguiu os padrões estabelecidos pela norma EN317 (1993).

Para os ensaios físicos, foram utilizados seis corpos-de-prova para cada ensaio, com dimensões de 5,00 cm x 5,00 cm x 1,00 cm de comprimento, largura e espessura, respectivamente, baseado na norma EN 317 (1993). E, esses corpos-de-prova foram submetidos aos seguintes ensaios físicos: densidade, teor de umidade, inchamento em espessura e absorção de água a 2 e 24 horas.

4.2.1 – Densidade

A variação da densidade entre os materiais produzidos ficou entre 0,64 e 1,02 g/cm³ sem evidenciar relação direta com a incorporação de Fibras, o que pode estar relacionado à falta de homogeneidade na distribuição das partículas no processo de fabricação das amostras.

Não houve diferença significativa entre as médias dos compósitos utilizando 20 e 40% de resíduo de bambu. Na Figura 33 são analisados os valores obtidos nos ensaios de densidade.

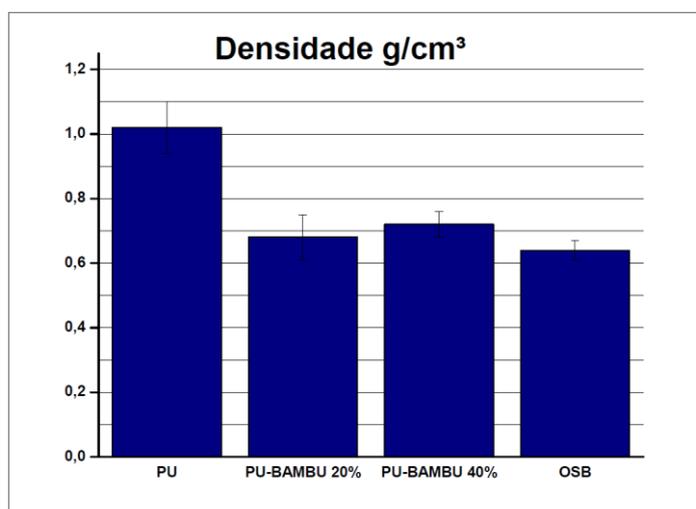


Figura 33 - Médias e desvios padrões encontrados no ensaio de Densidade.

Os materiais compósitos produzidos obtiveram valores de densidade superiores ao OSB comercial e podem ser classificados como de média densidade já que os valores de densidade obtidos, foram de 0,65 e 0,73 g/cm³, estão inseridos no intervalo de 0,60 a 0,80 g/cm³ como exige a CS 236-66 (CS, 1968), no intervalo de 0,55 a 0,75 g/cm³ conforme a NBR 14810 (2013) e pela EN 312-2 (EN, 2003) e no intervalo de 0,64 a 0,80 g/cm³ como é requerido pela ANSI A.208-1, conforme tabela 4.

Tabela 4 - Médias e desvios padrões encontrados no ensaio de Densidade

MATERIAL	DENSIDADE g/cm ³	Norma	DENSIDADE g/cm ³
PU	1,02 ± 0,08	CS 236-66 (CS, 1968)	0,60 a 0,80
PU-BAMBU 20%	0,68 ± 0,07	NBR 14810 (ABNT, 2013)	
PU-BAMBU 40%	0,72 ± 0,04	EN 312-2 (EN, 2003)	0,55 a 0,75
OSB	0,64 ± 0,03	ANSI A.208-1 (ANSI, 2009)	0,64 a 0,80

Esta classificação tem grande relevância, pois valores mínimos de módulo de elasticidade, módulo de ruptura, inchamento em espessura e absorção de água são diretamente relacionados aos valores de densidade.

4.2.2 – Absorção de água e de Inchamento em espessura

Os ensaios de inchamento e absorção de água fornecem indicações a respeito das condições de adesão e de resistência das partículas que constituem o painel quando submetidos à imersão em água.

Esses ensaios são realizados sistematicamente pelas indústrias, para controle de qualidade de seus produtos. Na tabela 5 são analisados os valores obtidos nos ensaios de absorção de água.

Tabela 5 - Ensaio de AA

MATERIAL	AA 2H	AA 24H
PU	1,52 ± 0,57	2,44 ± 0,89
PU-BAMBU 20%	2,82 ± 0,78	8,78 ± 2,48
PU-BAMBU 40%	5,35 ± 2,80	10,37 ± 2,32
OSB	44,26 ± 2,80	85,97 ± 5,43

A absorção d'água do poliuretano foi diminuta e não mostrou grande variação com o tempo de imersão, de forma que sua influência na absorção dos compósitos foi pequena, conforme é possível ver na figura 35.

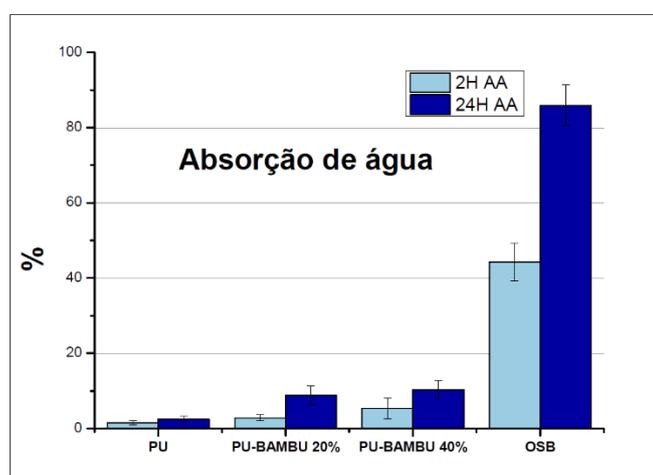


Figura 34 - Médias e desvios padrões do ensaio de AA durante 24 horas.

Comparando os níveis máximos de absorção dos compósitos com fibras de bambu com o OSB comercial, foi observado que OSB absorveu quantidade muito maior de água do que os materiais produzidos neste estudo quando submetidos por 2 e 24 horas em água.

Segundo Iwakiri et al. (2009), o aumento no nível de absorção d'água é gerado com adição de fração volumétrica de fibras e, este comportamento é mais evidente para maiores tempos de imersão, quando as fibras já absorveram o seu máximo. Analisando os materiais produzidos, percentual máximo de absorção obtido foi de aproximadamente 8,78% para o compósito com 20% de fibras de Bambu e 10,37%, para o compósito com 40% de fibras de Bambu, os valores foram similares e o desvio foi bem acentuado, fazendo com que não haja diferença significativa entre os resultados mencionados anteriormente. O acréscimo no valor da absorção de água proporcional ao acréscimo de fibras pode estar relacionado às características anatômicas (elevada porosidade) e química (maior percentual de hemicelulose e extrativos) do material utilizado como reforço.

Os materiais fabricados com o uso do poliuretano apresentam menores valores para a absorção (Conforme tabela 6), devido a sua resistência a umidade e maior eficácia no preenchimento de espaços vazios. (Negrão, 2014; Ferreira, 2013)

Tabela 6 - Síntese dos resultados encontrados - AA

Autores	AA 24H	Pesquisa
Lacombe e Sichiere (2014)	52,29%	Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil
Ferreira (2013)	10,39% a 14,1%	Painéis fabricados com partículas de Eucalyptus saligna e casca de macadâmia
Iwakiri et al. (2009)	31,6%	Painéis OSB fabricados com partículas de madeira de Pinus taeda L. e resina fenol-formaldeído
Calegari et al. (2007)	63% a 74%.	Painéis fabricados com partículas de bambu e madeira, e 10% de adesivo ureia-formaldeído
Negrão (2014)	9,35%(PU) e 15,56%(UR)	Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais.

Ferreira, Carrasco e Hellmeister (1988) afirmam que o adesivo é uma substância com capacidade de aderir fortemente dois substratos, fluir e preencher espaços vazios entre as juntas a serem coladas, diminuindo assim, a distância entre elas, gerando interações entre o adesivo e o substrato.

Os painéis produzidos atenderam à norma CSA 0437 (CSA, 1993) que preconiza os valores máximos de 10 e 15% de absorção de água após respectivamente 2 e 24 horas de imersão.

Na tabela 6 podem ser observados os valores obtidos no ensaio de inchamento em espessura. A NBR14810 estipula que o inchamento deve ser de no máximo 8%, sendo assim todos os materiais produzidos atende a essa especificação, com exceção a material comercial utilizado como comparação.

Tabela 7 - Ensaio de IE

MATERIAL	IE 2H	IE 24H
PU	0,65 ± 4,11	3,49 ± 3,58
PU-BAMBU 20%	0,95 ± 0,94	2,75 ± 2,69
PU-BAMBU 40%	-0,34 ± 1,48	1,50 ± 2,58
OSB	12,25 ± 1,86	22,98 ± 1,97

Em relação a amostra de poliuretano puro não podemos considerar os resultados já que os valores discrepantes entre os ensaios de 2 e 24H e também por causa dos desvios acentuados. É possível observar por meio da figura 36 que os valores de inchamento em espessura para OSB foram superiores aos dos materiais produzidos.

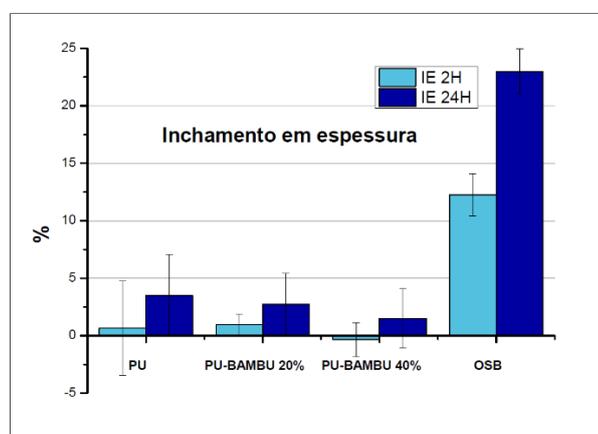


Figura 35 - Médias e desvios padrões do ensaio de Inchamento em espessura durante 2 e 24 horas.

Segundo Benaduce (1988), há um decréscimo nos valores de inchamento em espessura com aumento do teor de resina. Os resultados obtidos no ensaio com 20 e 40% de bambu estão em desacordo com a com a observação da referida autora e de outros autores como os citados na tabela.

Tabela 8 - Síntese dos resultados encontrados - IE

Autores	IE 24H	Pesquisa
Ferreira (2013)	4,67% a 10,88%	Painéis fabricados com partículas de Eucalyptus saligna e casca de macadâmia
Iwakiri et al. (2009)	18,55%	Painéis OSB fabricados com partículas de madeira de Pinus taeda L. e resina fenol-formaldeído
Calegari et al. (2007)	18% a 45%	Painéis fabricados com partículas de bambu e madeira, e 10% de adesivo ureia-formaldeído

Silva *et al.* (2006) concluíram que o inchamento em espessura pode estar relacionado a espécie de madeira, massa específica dos painéis, geometria das partículas, teor de resina, condições de prensagem e eficiência da aplicação da cola.

4.3 – Ensaio Mecânicos

Para avaliar as propriedades mecânicas dos materiais compósitos, foi utilizado como referência à norma ASTM D1037/96 e a norma EN 317/93, utilizadas para chapas de partículas. A utilização se justificou pela semelhança do produto desenvolvido no presente estudo com uma chapa de partículas.

Os ensaios mecânicos realizados foram os de flexão estática para cálculo de Módulo de Elasticidade (MOE), e Módulo de Ruptura (MOR), tração perpendicular, arrancamento de parafuso e impacto na configuração charpy.

4.3.1 – Resistência a flexão

O ensaio de flexão estática é dividido em dois subitens: módulo de elasticidade (MOE) e o de módulo de ruptura (MOR). E, esse ensaio permitiu a obtenção dos resultados mostrados na tabela 9 a seguir:

Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência a flexão

Material	Módulo De Elasticidade (Mpa)	Módulo De Ruptura (Mpa)
PU	62,77 ± 5,37	3,21 ± 0,67
PU-BAMBU 20%	2203,89 ± 562,59	58,65 ± 11,34
PU- BAMBU 40%	4475,84 ± 1244,94	85,50 ± 11
OSB	1152,63 ± 259,60	18,40 ± 3,96

Valarelli (2016) conclui em sua pesquisa que o valor da Resistencia a flexão cresce à medida que se acrescenta resíduos de pupunha, o que também é possível notar com o acréscimo de fibras de bambu na figura 36.

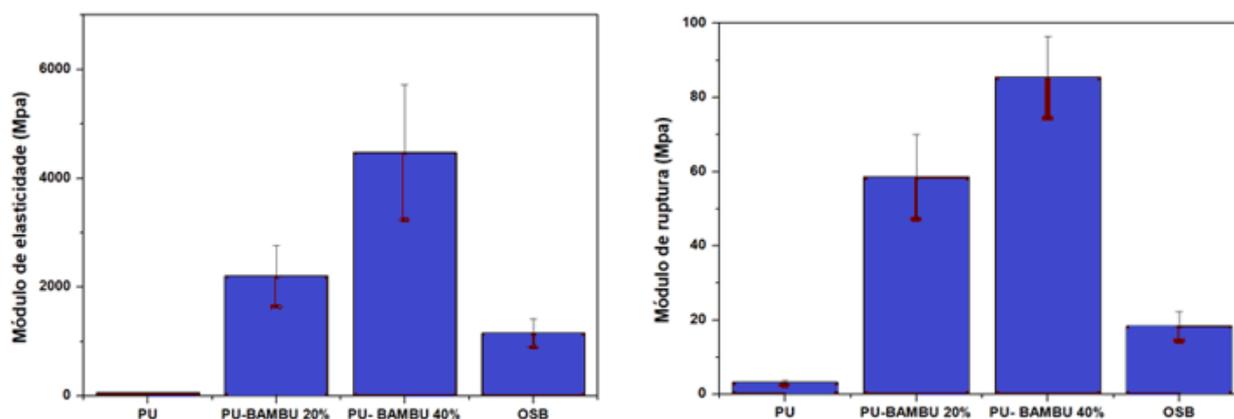


Figura 36- Resultados do ensaio de resistência a flexão

Os resultados dos materiais produzidos com 20 e 40% de Fibras de bambu atenderam a norma brasileira, canadense e americana como é possível observar na tabela 10.

Tabela 10- Requisitos Estabelecido Em Normas - MOR e MOE

MATERIAL	MOE (Mpa)	MOR (Mpa)
CS 236-66 (CS, 1968)	1900	11,2
NBR 14810 (ABNT, 2013)	1800	22
EN 312-2 (EN, 2003)	2300	11,5
ANSI A.208-1 (ANSI, 2009)	1725	11

Como é possível observar na tabela, os resultados obtidos nos ensaios dos materiais produzidos com 20 e 40% de bambu foram similares aos encontrados na literatura.

Tabela 11 - Síntese dos resultados encontrados - Resistência a flexão

Material	MOE (Mpa)	MOR (Mpa)	
Ferreira (2013)	4163,78	14,16	Painéis fabricados com partículas de Eucalyptus saligna e casca de macadâmia
Bertolini (2011)	2911	29	Painéis fabricados com resina poliuretana à base de óleo de mamona utilizando resíduo
Dacosta et al. (2005)	1184	9,7	Painéis fabricados com partículas de madeira fabricados com resíduo de maravalha e cavaco de Pinus elliottii Engelm
Araújo (2014)	2100 MPa		Painéis de média densidade com partículas de bambu, adição de casca de café e adesivo poliuretano à base de mamona
Valarelli (2016),	3633,0 MPa		Painéis de partículas de bambu e pupunha

Segundo Trianoski (2010), os valores de MOR e MOE à flexão estática são acentuados com o aumento da razão de planicidade das partículas. E, colaborando com a afirmação descrita, de acordo com Saldanha (2004), a planicidade das partículas favorece o processo de aplicação da resina, a formação do colchão e área de contato entre as partículas, ou seja, quanto maior a razão de planicidade melhores são as condições de distribuição da resina e maiores são os valores encontrados para as variáveis de resistência e rigidez a flexão estática. E, também, de acordo com wakiri (2005) e Vital et al. (1992), painéis fabricados com partículas com elevados índices de esbeltez, exibem propriedades elevadas no ensaio de flexão.

Com os resultados obtidos é possível notar que o acréscimo de fibras ao material compósito acentua os valores de MOE E MOR e que estes valores foram superiores aos valores encontrados para o material comercial utilizado neste estudo. A tendência linearmente crescente da resistência à flexão com o aumento do teor de fibras tratadas sugere que a ligação entre as fibras e a matriz é relativamente boa. Assim, o incremento de fibras gera um aumento considerável da resistência do material a flexão, sendo essa uma propriedade muito importante no que se refere ao tipo de utilização que esses novos materiais podem ter.

4.3.2 – Resistência a tração perpendicular – faces

No ensaio de tração perpendicular foi possível observar que os materiais compósitos produzidos tiveram resultados similares entre si e superiores ao resultado do OSB. (Figura 37)

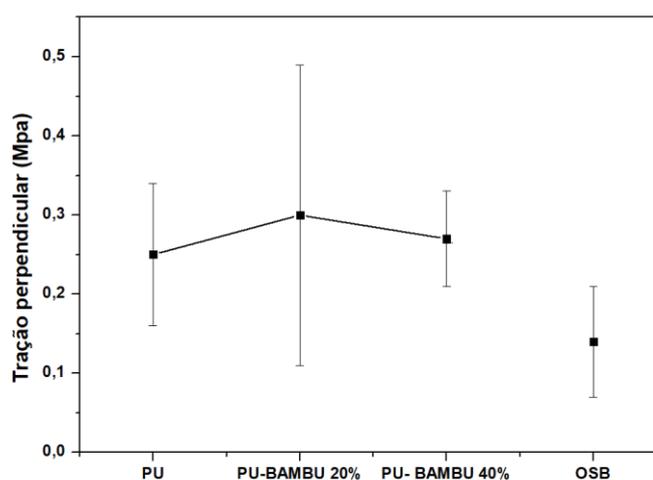


Figura 37 - Tração perpendicular

Analisando os resultados de tração perpendicular (tabela 12), pode-se observar que nenhum dos painéis alcançou indicadores mínimos estabelecidos pela norma NBR 14.810/2013, que exige que o valor mínimo deve ser de 0,40 MPa para painéis com 8 a 13 mm de espessura.

Tabela 12 - Resultados Do Ensaio De Tração Perpendicular E Requisitos Estabelecidos Em Normas

Material	Resistência à tração perpendicular as faces (Mpa)	Normas	Requisitos (Mpa)
PU	0,25 ± 0,08	CS 236-66 (1968)	1,4
PU-BAMBU 20%	0,30 ± 0,17	ANSI A.208-1 (2009)	0,9
PU- BAMBU 40%	0,27 ± 0,05	EN 312-2 (2003)	0,4
OSB	0,14 ± 0,06	NBR 14810 (2013)	0,4

Segundo o Callister (2002) o acréscimo de porcentagem de resina contribui para um baixo valor de resistência já que a matriz polimérica utilizada é frágil e sem resistência a forças de tração.

Alguns autores têm pesquisado causas que interferem negativamente as propriedades mecânicas. Watkinson e Van Gosliga (1990) concluíram que a causa pode ser a variação do teor de umidade. Almeida (2006) afirma que algumas matrizes, após a sua cura, podem ter interação com a água ou da umidade ocasionando redução nas forças de ligações e, o resultado é a diminuição das propriedades físico-mecânicas. Woodson (1976) pesquisando várias espécies de madeiras concluiu que o aumento do valor da massa específica influencia negativamente em propriedades mecânicas em painéis de MDF.

Os resultados obtidos nestes ensaios variam muito em relação ao método de ensaio utilizados, já que as normas são abrangentes, isso pode ser visto na diferença de resultados obtidos pelos autores listados na tabela 13.

Tabela 13 - Síntese dos resultados encontrados – Tração Perpendicular

Material	TP (Mpa)	PESQUISA
Ferreira (2013)	1,67 a 0,69	Painéis fabricados com partículas de Eucalyptus saligna e casca de macadâmia
Bertolini (2011)	1,22 a 1,71	Painéis fabricados com resina poliuretana à base de óleo de mamona utilizando resíduo
Dacosta et al. (2005)	0,09 a 0,2	Painéis fabricados com partículas de madeira fabricados com resíduo de maravalha e cavaco de Pinus elliottii Engelm

4.3.3 – Arrancamento de parafuso

Por meio do ensaio foi possível observar que há um aumento nos resultados dos materiais compósitos produzidos em função da adição de fibras de bambu sendo estes superiores ao resultado do OSB. (Figura 38)

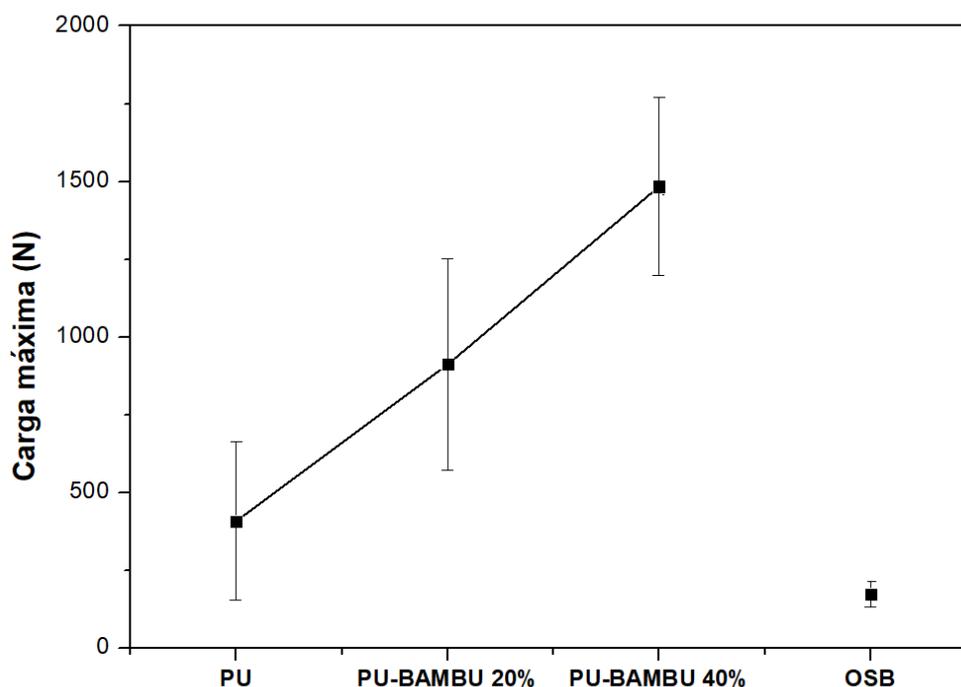


Figura 38 - Resultados Do Ensaio De Arrancamento De Parafuso

A tabela 14 exibe os valores obtidos para cada um dos materiais analisados. A norma brasileira NBR 14.810/2013 não especifica valores para arrancamento de superfície e norma comercial canadense CS 236/1966, exige um valor de 1020,6 N para painéis com aplicações internas, e o painel produzido com 40% de bambu atende essa especificidade. E, de acordo com a ANSI 86 A208.1-1999, o valor mínimo para painéis comerciais é de 900 N, os painéis de OSB e PU puro não atendem a norma.

Tabela 14 - Resultados do ensaio de arrancamento de parafuso

Material	Carga máxima (N)
PU	409,25 ± 253,88
PU-BAMBU 20%	912,84 ± 338,71
PU-BAMBU 40%	1483,88 ± 285,49
OSB	175 ± 41,82

Nasser (2016), que analisou painéis de partículas de bambu com adição de casca de amendoim obteve resultados para os ensaios de resistência ao arrancamento de parafuso de superfície superiores aos obtidos neste estudo em torno de 2797,84 ± 246,08.

Valarelli (2016), estudando painéis de bambu e pupunha, também encontrou resultados superiores aos encontrados neste trabalho em relação ao teste de arrancamento de parafuso para superfície com valor médio máximo de 2.859,86 N, para 90% bambu e 10 % pupunha, com as médias variando de 2.674,95 N a 2.971,96 N. E, segundo Moslemi (1974), painéis produzidos com espécies de baixa densidade exibem aumento nas propriedades de arrancamento de parafuso isso pode ser a causa dos resultados inferiores aos de alguns autores (tabela 15), já que a fibra de bambu estudada possui alta densidade comparada a literatura.

Tabela 15 - Síntese dos resultados encontrados – Arrancamento de parafuso

Autores	AP (N)	Pesquisa
FERREIRA (2013)	255 N a 392	Painéis fabricados com partículas de Eucalyptus saligna e casca de macadâmia
BERTOLINI (2011)	1342 N a 1608	Painéis fabricados com resina poliuretana à base de óleo de mamona utilizando resíduo
DACOSTA ET AL. (2005)	4,6 N a 7,6	Painéis fabricados com partículas de madeira fabricados com resíduo de maravalha e cavaco de Pinus elliottii Engelm

4.3.4 – Resistência ao impacto – Charpy

Os resultados obtidos para ensaio Charpy em compósitos de matriz poliuretano reforçados com bambu, nas frações volumétricas de 0, 20, 40%, demonstraram existir uma ótima capacidade de absorção de energia destes materiais comparativamente com o OSB, conforme observado na tabela 16.

Tabela 16 - Resultados ensaio de impacto - Charpy

MATERIAL	ENERGIA (J/M)
PU	115,63 ± 12,02
PU - BAMBU 20%	450,20 ± 80,87
PU - BAMBU 40%	1079,18 ± 193,63
OSB	39,55 ± 7,94

Analisando-se a resistência ao impacto do material produzido, foi observado que não houve, no ensaio de impacto, uma equivalência de valores quando comparados ao OSB, o estudo mostrou que, os resultados obtidos do ensaio para os materiais produzidos foram significativamente superiores ao resultado do material anteriormente mencionado. E, o resultado foi superior também ao resultado obtido por Monteiro (2006), de 94,7 J/m, quando analisou tenacidade ao entalhe por impacto charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava.

Observando os materiais produzidos com 0, 20 e 40 % de fibras, revela que a incorporação de fibra de bambu na matriz de poliuretano aumenta consideravelmente a tenacidade ao entalhe do compósito, medida pela energia de impacto Charpy. (Figura 39)

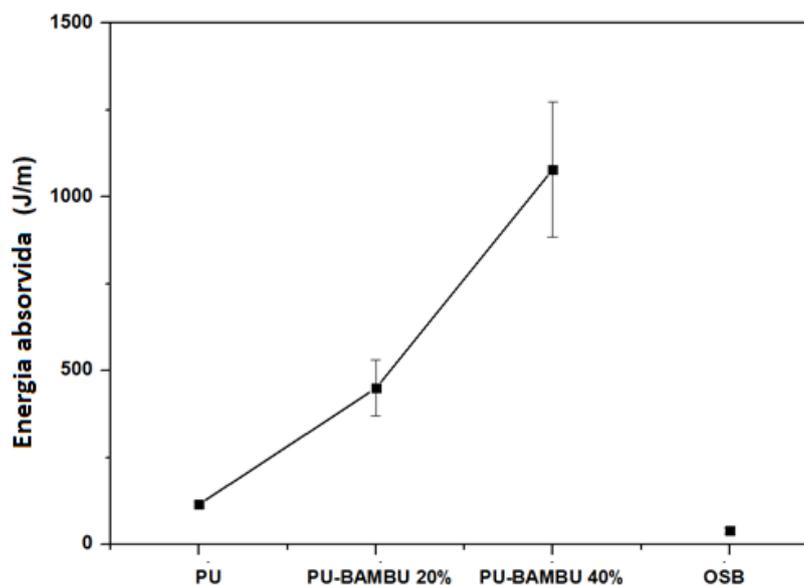


Figura 39 - Gráfico com os resultados do ensaio de impacto

O Resultado corrobora com as afirmações de Leão (2000) e FU (1999), de que a incorporação de fibras aumenta significativamente a resistência ao impacto. A tabela 15 exhibe resultados encontrados na literatura relativo a compósitos reforçados por FNL.

Tabela 17 - Síntese dos resultados encontrados – Impacto

Autores	Impacto (J/m)	Pesquisa
MONTEIRO, 2006	94,7 ± 20,6	Tenacidade ao Entalhe por Impacto Charpy de Compósitos de Poliéster Reforçados com Fibras de Piaçava. (resultado utilizando 40% de fibra)
NEVES, 2016	139.05 ± 8.21	Análise Do Impacto Charpy Em Compósitos De Matriz Polimérica Reforçada Com Fibras De Cânhamo (resultado utilizando 30% de fibra)
MARGEM, 2013	716,2 ± 134,8	Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva (resultado utilizando 30% de fibra)

Outro aspecto importante observado é a característica macroscópica da ruptura dos corpos de prova após o ensaio de impacto. A figura 40 exhibe a característica de ruptura dos corpos de prova de compósitos de poliuretano com diferentes frações incorporadas de fibras de bambu e o OSB.

Na figura 40 está mostrado que os corpos de prova com 20% e 40% de fibras de bambu tiveram a trinca bloqueada pelas fibras e a ruptura ocorreu longitudinalmente pela interface fibra/matriz.



Figura 40 - Corpos de prova após o ensaio de impacto

O motivo pelo qual o corpo de prova do material compósito não se rompe completamente seria que após o impacto do martelo da máquina, a trinca se propaga se encontra com as fibras de bambu, que são mais resistentes, e essas trincas modificam sua direção de propagação, para um sentido longitudinal, que acompanham a interface fibra/matriz, menos resistente.

Este mecanismo contribui para o aumento da capacidade de absorção de energia deste compósito, pois ao ocorrer a delaminação, os diversos filamentos resultantes do arrancamento superficial das fibras permanecem unindo as superfícies da trinca.

O mecanismo de união das superfícies de fratura de compósitos por fibras é denominado "bridging" e está relacionado a uma elevada tenacidade do compósito por gerar maior área de fratura, o que corresponde a maior energia absorvida no impacto. (Bucknall, 1989)

A medida em que foram adicionadas fibras à matriz, a tenacidade aumentou sugerindo uma ineficiência na transferência de carga da matriz para as fibras. O mesmo padrão foi observado por MONTEIRO et al. (2006) ao analisarem a tenacidade ao impacto charpy em compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava. E, os autores, relataram também, que a elevada tenacidade conferida pelas fibras na matriz está associada à resistência ao dobramento destas fibras.

4.5 – MEV das regiões de fratura

É possível observar pelo MEV da região de fratura, após os ensaios de impacto observa-se a presença de fibras desalinhadas e quebra da interface evidenciando fraca interação fibra-matriz, que ocasiona, menores áreas de contato e insuficiente ancoragem por parte do adesivo, fenômeno também conhecido como “debonding”, comportamento típico de fraturas frágeis.

Niemz e Poblete (1996) afirmam que o alinhamento das fibras interfere nas propriedades de MOE e MOR. Oliveira (2008) sugere que as fibras são as responsáveis pelas propriedades mecânicas, sendo a questão mais importante as adesões interfaciais entre a resina e a fibras, ocasionando áreas de contato maiores. A figura 41 exibe região de fratura após o ensaio de impacto.



Figura 41 - MEV da região de fratura

4.5 – Análise térmica

4.5.1 – Análise termomecânica (TMA)

Os resultados obtidos para as três amostras, PU puro, PU-BAMBU 20%, PU-BAMBU 40% e o OSB apresentaram, inicialmente, contração em consequência da perda de água livre.

É possível observar que o poliuretano apresentou, dois estágios principais, caracterizados pela expansão térmica (primeiro estágio), por volta de 52 °C, de rearranjo das cadeias relacionado ao término da cura, o material finaliza a interligação entre as cadeias, e, decomposição por volta de 160°C, em que acontece a transição do estado vítreo para o borrachoso (segundo estágio).

Quanto aos compósitos fabricados e o OSB a primeira queda está relacionada a perda de água e rearranjo das cadeias juntos de forma concomitante, após isso, a curva se mantém constante até a temperatura em que a fibra e a resina começam a se degradar. (Figura 42)

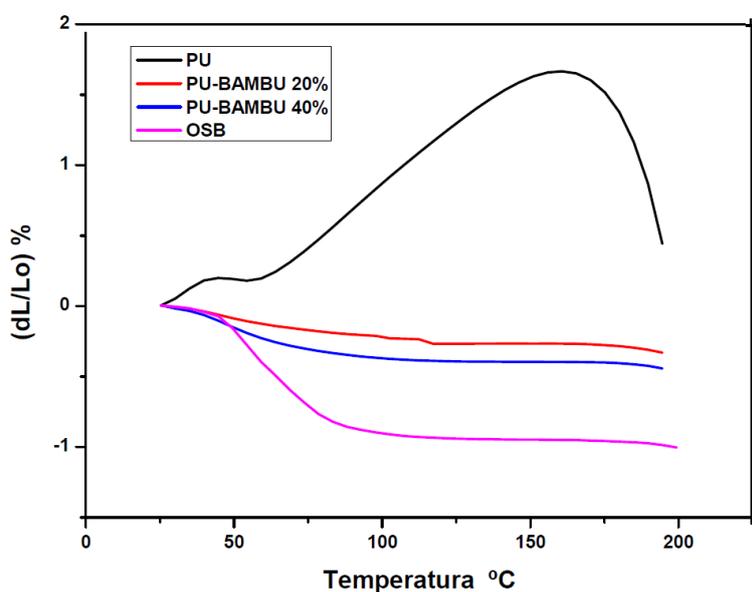


Figura 42 - Análise térmica (TMA)

Foi possível observar que o material constituído de 20% de bambu se retrair até aproximadamente 120°C, (primeiro estágio) como ele tem uma pequena quantidade de fibras comparado com os outros materiais a quantidade de água a ser perdida é menor e, (segundo estágio) notou-se também que, por volta de 200°C,

houve retração tanto em função da decomposição da resina quanto em função das perdas dos constituintes internos da fibra.

O material constituído por 20% de fibras obteve uma curva acima da curva do material que contém 40% de fibra, que indica que houve uma retração maior no material com maior percentagem de fibra, devido a quantidade de água e quantidade de fibras corroborando com o resultado da análise microestrutural da fibra, que indicou que a fibra possui grande quantidade de um tecido parenquimatoso responsável pela retrabilidade (variação dimensional).

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 – Conclusões

Com base nos resultados das propriedades morfológicas, físicas, mecânicas e térmicas foi possível concluir que:

A morfologia avaliada pela técnica de microscopia eletrônica de varredura mostrou que a fibra detém uma porcentagem elevada de tecido parenquimatoso que acarreta em uma menor adesão fibra matriz

A respeito das propriedades físicas, a absorção de água realizada nos compósitos mostrou que o OSB absorveu quantidade significativamente superior de água quando comparada ao compósito reforçado com fibras e houve um aumento da absorção com a adição de volume de fibra. Já no ensaio de inchamento em espessura, houve uma equivalência dos resultados obtidos no teste, com exceção ao OSB que exibiu um inchamento mais acentuado.

No que tange a análise das propriedades mecânicas:

- Os materiais expostos ao ensaio de flexão apresentaram resultados superior aos mínimos estabelecidos pelas normas regentes, foi verificado também que o acréscimo de fibra gerou um aumento na resistência a flexão e que o OSB exibiu uma resistência significativamente inferior aos materiais desenvolvidos.
- No ensaio de tração perpendicular, os resultados obtidos foram inferiores aos encontrados na literatura e isso pode ser pelo fato que os procedimentos guiados pelas normas são abrangentes, podendo acarretar nessa discrepância e, comparando os resultados entre si, não houve relação do aumento da porcentagem de fibra com aumento da resistência e o OSB apresentou resultado inferior ao material proposto.
- No ensaio de arrancamento de parafuso e no ensaio de impacto na configuração charpy, houve um acréscimo da resistência com a incorporação de fibras e, os resultados dos materiais fabricados foram significativamente superiores aos encontrados na literatura e aos obtidos com o OSB. O fato das fibras não terem se rompido completamente corroborou com os resultados já que a trinca se propaga pelas fibras de bambu que são mais resistentes.
- Na análise da fratura, por meio da observância de fibras desalinhadas e quebra na interface, foi possível concluir que existe uma interação fraca fibra-matriz.

Foi possível constatar por meio do ensaio de TMA que a retração do material composto por 20 % de fibras foi menor comparado com o compósito utilizando 40% de fibra e o OSB.

Após analisar os resultados dos ensaios físicos e mecânicos obtidos nesta pesquisa entre as características dos materiais, verificou-se a possibilidades de produção destes para uso comercial. E, estes resultados comprovaram que existe a possibilidade de substituição do OSB pelo material compósito de resina poliuretana vegetal reforçado por fibras de bambu, não só se mantendo as resistências mecânicas, mas também as melhorando.

5.1 – Sugestões De Trabalhos Futuros

O objetivo principal desse estudo foi o de utilizar resíduo proveniente da fabricação de palito de bambu para a fabricação de material compósito e indicar uma das possíveis aplicações por meio da comparação das propriedades do material produzido com material utilizado na construção civil disponível no mercado, o OSB. Com os resultados obtidos, sugere-se que o volume de fibra utilizado na fabricação dos compósitos tem total influência nas propriedades mecânicas, e, apesar dos resultados obtidos já serem superiores ao do material comercial, pode-se aumentar a gama de aplicação do material produzido mencionado anteriormente. Para isso, novos testes, métodos de fabricação e proporção podem ser utilizados. Portanto, sugere-se para trabalhos futuros:

- O estudo mais aprofundado da interface do material, a fim de se verificar, a influência da adição de fibras nas propriedades físicas no material
- Avaliação das propriedades de materiais com maior proporção de resíduos de bambu.
- Estudo de um método de fabricação que acarrete em uma menor formação de bolhas nos materiais e maior capacidade de uso das fibras.
- Análise de inflamabilidade
- Análise de biodegradabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D6110 - 04 - Standard Test Methods for Determining the Charpy Pendulum Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics. Annual Book of ASTM, 2004
- ABDUL KHALIL, H. P. S. et al. Bamboo fibre reinforced biocomposites: A review. *Materials and Design*, v. 42, p. 353–368, 2012.
- ABIPA (2011). OSB - Oriented Strandboard. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosOSB.php>>. Acesso em: 18 de dez. 2018.
- Agarwal, B. D. e Broutman, L. J.. *Analysis and performance of fiber composites* vol. 2nd ed. New York [etc.]: John Wiley & Sons, 1990.
- AHMAD, M. *Analysis of Calcutta bamboo for structural composites materials*. Dissertation, wood Sci. and Forest Products, VT. p.210, 2000
- Albinante, S. R.; Pacheco, E. B. A. V.; Visconte, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. *Química Nova*, v.36, p.114-122, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422013000100021>
- ALMEIDA, C. de O. R. *Estudo da influência da temperatura e do tempo de prensagem nas características físico mecânicas, de diferentes tipos de MDF aquando do seu revestimento por prensagem*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2006. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais lenhocelulósicos) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa-PT, 2006.
- ARPITHA, G. R.; YOGESHA, B. An Overview on Mechanical Property Evaluation of Natural Fiber Reinforced Polymers. *Materials Today: proceedings*, v. 4, p. 2755 – 2760, 2017.
- ARRUDA, L.M. et al. Lignocellulosic composites from Brazilian giant bamboo (*Guadua magna*) Part 1: Properties of resin bonded particleboards. *Maderas Ciencia y tecnologia*, v.13, p.297- 306, 2011.
- ASTM D3878 (2016): *Standard Terminology for Composite Materials*, 2016.
- AZZINI, A.; BERALDO, A. L. Determinação de fibras celulósicas e amido em cavacos laminados de três espécies de bambu gigante. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, n. 57, p. 45–51, 2000.

- BANSAL, S.; RAMACHANDRAN, M.; RAICHURKARA, P. Comparative analysis of bamboo using jute and coir fiber reinforced polymeric composites. *Materials Today: proceedings*, v. 4, p. 3182 – 3187, 2017.
- BARBOSA, A. D. M. Compósitos poliméricos com resíduo de açaí para a mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco-alternativas em habitações na Amazônia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2016.
- Bastos, Valéria Delgado. 2007. "BioPolímeros e Polímeros de matérias-Primas ReNováveis". *Revista do BNDES*, Dezembro 2007, 201-234.
- Bastos, Valéria Delgado. 2007. "Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias". *BNDES Setorial*, 5-38. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2527>.
- BENADUCE, C. Fabricação de painéis de média densidade (MDF) a partir de fibras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. 1998. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” , Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- BERTOLINI, M. S. Emprego de resíduos de *Pinus* sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- BUCKNALL, C. B.; GILBERT, A. H. (1989) *Polymer*, vol.30,213.
- CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; SCARAVELLI, T. L.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Scchr.) em combinação com madeira. *Revista Cerne. Lavras*, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.
- CALLISTER Jr, W. D., & RETHWISCH, D. G. *Ciência E Engenharia De Materiais: Uma Introdução*. 8ª ed., LTC. 2012.
- CALLISTER, W.D., (2000) *Materials Science and Engineering- 2n Introduction*, Jonh Wiley and Sons, Canada P445.
- CARVALHO, H.G.; OLIVEIRA, R.C.; GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose Kraft branqueada de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 31., 1998, São Paulo. Anais ... São Paulo: ABTCP, 1998. p. 367-381.

- CASTILHO, LEDA R., DAVID A. MITCHELL E DENISE M. G. FREIRE. 2009. "Production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from waste materials and by-products by submerged and solid-state fermentation". *Bioresource Technology* no. 100 (23):5996-6009. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409006610>.
- CAVALCANTE, D.G. Estudo das características física, mecânica e química de compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta e malva tratado e adição de materiais pozolânicos. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- CETESB -COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Resíduos Sólidos. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/>>. Acesso em: 18 Jan. 2019.
- CHAWLA, K. K, *Composite Materials; Science and Engineering*, Springer-Valley, New York, Amber Editor, (1987), 391p.
- CHOLAKE, S. T. et al. Composite panels obtained from automotive waste plastics and agricultural macadamia shell waste. *Journal of Cleaner Production* v. 151, 10 May 2017. 163-171.
- Chung, F. D., Unified theory na guidelines or adhesion, *Journal of Applied Polymer Science* p. 1319 – 1331, 1991.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Brasília. 2002.
- Corradini, Elisângela, José A. M. Agnelli, Luís C. de Moraes e Luiz H. C. Mattoso. 2008. "Estudo das propriedades de compósitos biodegradáveis de amido/glúten de milho/glicerol reforçados com fibras de sisal". *Polímeros* no. 18:348-352.
- COSTA, V. et al. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber-cement materials. *Construction and Building Materials*, Edinburgh, v. 72, p. 65-71, set. 2014
- CSC. 2016. "Plásticos – Tendências e Perspetivas". Acedido a 20 de janeiro de 2018. <https://reviplast.wordpress.com/2016/07/04/plsticos-tendncias-e-perspetivas/>.
- DA SILVA, R. V. Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. UFSCAR. São Carlos, (2003). *Composites Science and Technology*, 60: 2037- 2055.

- DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322. 2005
- DIAS, F. M. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 151. 2005.
- DINWOODIE, J.M. The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. *Tappi Journal*, Atlanta, v. 48, n.8, p. 440-447, 1965.
- Echeverri, Luz Adriana Sanchez, and Mario Enrique Rodriguez Garcia. "MORPHOLOGICAL AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF BAMBOO FIBER INTO CULM--*Guadua angustifolia* KUNTH/CARACTERIZACAO MORFOLOGICA E ESTRUTURAL DE FIBRAS NA COLMO DO BAMBU DENTRO DE COLMO--*Guadua angustifolia* KUNTH." *Ciencia Florestal*, vol. 28, no. 4, 2018, p. 1676+. Accessed 1 Mar. 2020.
- EPF. (2011). O painel derivado de madeira mais versátil dos nossos dias. Disponível em: <<http://www.osb-info.org/index.php?lang=nl>>. Acesso em: 18 de dez. 2018.
- ERENO, D. Prótese de mamonas. Pesquisa-Fapesp. São Paulo. 2003.
- FARUK, O. et al. Progress in Polymer Science Biocomposites reinforced with natural fibers : 2000 – 2010. *Progress in Polymer Science*, v. 37, n. 11, p. 1552–1596, 2012.
- Fibrenamics. 2018. "Fibras Naturais". Acedido a 20 de dezembro de 2018. <https://www.web.fibrenamics.com/pt/conhecimento/as-fibras/fibras-naturais/>.
- Fowler, P., Hughes, J., & Elias, R. (2006). Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *J Sci Food Agric*. p. 1781–1789.
- FU, S.Y., LAUKE, B., MÄDER, E., Hu, X., YUE C.Y., "Fracture Resistance of Short-Glass-Fiber-Reinforced and Short-Carbon-Fiber-Reinforced Poly-propylene under Charpy Impact Load and its Dependence on Processing", *Journal of Materials Processing Technologies*, v. 89/90, pp. 501-507, 1999.
- FUENTES, C.A.; TRAN, L.Q.N.; DUPONT-GILLAIN, C.; VANDERLINDEN, W.; FEYTER, S. D. Wetting behaviour and surface properties of technical bamboo

- fibres. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2011. 89–99.
- Gatenholm, P. (1997): *Interfacial Adesion and Dispersion in Composites. Molecular Inerations Between Cellulose and Other Polymers*, *Polym Compos* 14:449–457
- GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; GHANI, Y. A.; CIPRIANO, T. A. R. P. Discussões em torno da prevenção e da política nacional de resíduos sólidos, Junho 2015. 34-49. GUARNIERI, P. *Logística Reversa: em busca do equilíbrio econômico e ambiental*. Recife: Ed. Clube dos Autores, 2011.
- GUIMARÃES JÚNIOR, M. et al. Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, v. 33, p. 33-42, 2013. Disponível em: <<http://www.rlmm.org/ojs/index.php/rlmm/article/view/262>>. Acesso em: 21 dez. 2019.
- GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Bilbao, v. 1, n. 7, p. 442-456, 2010. Disponível em: <<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/DIC10/guimaraes.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2018.
- HAMOUDA, T.; SEYAM, A.-F. M.; PETERS, K. Evaluation of the integrity of 3D orthogonal woven composites with embedded polymer optical fibers. *Composites Part B: Engineering*, v. 78, p. 79-85, 2015.
- HIDALGO-LÓPEZ, O. H. *Bamboo the gift of the gods*. Bogotá: D'Vinni, 2003. 553 p. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282008000400016&nrm=iso. Acesso em: 25 out. 2018.
- JANSSENS, D.P. The increasing recognition of oriented Strandboard (OSB) as preferred structural panel. In: 1st International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. *Anais Belo Horizonte - MG*, p. 169-172, 1998.
- JESUS, J. M. H. (2000). *Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)*. São Carlos. 106f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.
- JONH, M. J. & THOMAS, S.: Review: Biofibres and biocomposites. *Carbohydrates Polymers*, Vol. 71, 2008

- JOSEPH, Kuruvilla; MEDEIROS, Eliton S.; CARVALHO, Laura H.. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. *Polímeros*, São Carlos, v. 9, n. 4, p. 136-141, dez. 1999. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14281999000400023&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 02 jul. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0104-14281999000400023>.
- Kaplan, D. (1998). *Introduction to biopolymers from renewable resources. Macromolecular Systems – Materials Approach*. Berlin: Springer.
- KLÍMEK, P.; WIMMER, R.; MEINLSCHMIDT, P.; KÚDELA, J. Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. *Industrial Crops And Products*, [S. l.], v. 111, p. 270-276, jan. 2018.
- KUMRE, A.; RANA, R.S.; PUROHIT, R. A review on mechanical property of sisal glass fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: proceedings*, v. 4, p. 3466 – 3476, 2017.
- LAHR, F. A. R.; SAVASTANO JUNIOR, H.; FIORELLI, J. Non-conventional building materials based on agro-industrial wastes. Bauru: Tiliform, 2015. p. 143-178.
- LEÃO, A.L., CARASCHI, J.C., TAN, I.H., “Curaua fiber – A Tropical Natural Fibers from Amazon - Potential and Application in Composites”, *Natural Polymers and Agrofibers Composites*, pp. 257-272, São Paulo, Brasil, USP & UNESP, 2000.
- Li, Y., Mai, Y., Ye, L. (2000) Sisal fiber and its composites: a review of recent developments. *Compos Sci Technol* 60:2037-2055
- LIESE, W. *The anatomy of bamboo culms*. Beijing, People’s Republic of China. ed. International Network for Bamboo and Rattan, 2002, 208p.
- LIESE, W. *The structure of bamboo in relation to its properties and utilization*. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL USE OF BAMBOO. Beijing: CHINESE ACADEMY OF FORESTRY. 1992.
- LIMA, M. D. F. *Utilização de resíduos da espécie Dipteryx polyphylla (Cumarurana), Dipteryx odorata (Cumaru) e Brosimum parinarioides (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2012.
- LPBRASIL. (2011). Meio ambiente. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/meio-ambiente.asp>>. 18 de dez. 2018.

- MACIEL, A. S.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S. Painéis de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* Engelm., poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). *Revista Árvore*. Viçosa – MG, v.28, n.2, p. 257-266, 2004.
- MALLMANN, Cristiano Roberto. "Aplicação de compósitos de madeira na criação de produtos para mobiliário: pé para móvel". 2017. Monografia (Graduação em Design) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 28 nov. 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1884>>.
- MARINHO, N. P. et al. *Dendrocalamus giganteus*). *Ciência Florestal*, v. 22, n. 2, p. 413–418, 2012.
- MARGEM, Jean Igor. Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva. Universidade estadual do norte fluminense -UENF. Campos dos Goytacazes - RJ, 2013.
- MARTINS NETO, J. A. Desempenho mecânico de compósitos híbridos de fibras e poliéster não saturado. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.
- MARTINS NETO, J. A. Obtenção, caracterização e utilização de um compósito com matriz de resina poliéster e carga de fibras de sisal. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- Martins, Raquel dos Santos; Pandoli, Omar. Impregnação do Bambu, *Dendrocalamus giganteus*, com diferentes nanopartículas de prata para prevenir ataques de fungos. Rio de Janeiro, 2016. 145p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- MASISA do Brasil. Manual OSB e Características Físico-mecânicas Disponível: <<http://www.masisa.com.br/>> Acesso em: 18 de dez. 2018.
- MATTOS, R. L. G.; CHAGAS, F. B.; GONÇALVES, R. M. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.
- Melo, Marciano Almeida. 2012. "O desenvolvimento industrial e o impacto ambiental".
- MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Natural Polymers, Biopolymers, and Biocomposites. Boca Raton, FL: Taylor and Francis Group, 2005.

- MONTEIRO, S. N., LOPES, F. P., BARBOSA, A. P., BEVITORI, A. B., DA SILVA, I. L., & DA COSTA, L. L. Natural Lignocellulosic Fiber As Engineering Materials - An Overview. *Metallurgical And Materials Transactions A*. 2011. 2963-2974p
- MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.; LOPES, F.P.D.; D'ALMEIDA, J. R. M. Tenacidade ao Entalhe por Impacto Charpy de Compósitos de Poliéster Reforçados com Fibras de Piaçava. *Revista Matéria*, v. 11, n. 3, pp. 204 – 210, 2006.
- Moura, M. F. S. F. Morais, A.B. d.; e Magalhães. A. G. d.. *Materiais compósitos, Fabricação e comportamento mecânico*, 2ª Ed. 2011.
- MUSSI-DIAS, V.; SANTOS, A.V.; TAVARES, L.P.S.; HERNÁNDES, G.A.F. & FREIRE, M.G.M. Degradação de poliuretano por fungos: perspectivas para preservação ambiental. *Perspectivas Online: Biológicas e Saúde*, v.7, n.24, p.88-95, 2017.
- NASCIMENTO, Maria da Paz Ferreira do; DIAS, Ayres Guimarães; DOMINGOS, Jorge Luiz de Oliveira. Importância de compósitos sustentáveis fibra natural - polímero para produção de “madeira plástica” para fins naval e náutico. *Revista PAGMAR*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 6, p. 71 - 76, jan./dez. 2018.
- Neto, F. L; Pardini, L.C. (2006). *Compósitos Estruturais: Ciência e tecnologia*. Ed São Paulo: Edgar Blucher.
- Neves, Anna Carolina Cerqueira; Rohen, Lázaro Araújo; Vieira, Janaina da Silva; Vieira, Carlos Maurício Fontes; Margem, Frederico Muylaert; Monteiro, Sergio Neves; Mantovani, Dhyemila de Paula. ANÁLISE DO IMPACTO CHARPY EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADA COM FIBRAS DE CÂNHAMO , p. 643-648. In: 71th ABM Annual Congress, Rio de Janeiro, 2016.
- Niaounakis, M. 2015. "Definitions of Terms and Types of Biopolymers". Em *Biopolymers: Applications and Trends*, editado por Elsevier, 1-90.
- NP EN 310: 2002, “Placas de derivados de madeira – Determinação do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão”.
- NP EN 312-2: 2000, “Aglomerado de partículas – Especificações – Parte 2: Requisitos para placas de uso geral ambiente seco”.
- NP EN 319: 2002, “Aglomerado de partículas e aglomerado de fibras – Determinação da resistência à tração perpendicular às faces da placa”.
- OLIVEIRA, Luiz Fernando Andrade de. *Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil*. 2013. 90 f. Monografia (Especialização em

- Construção Civil) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- PENG, H. et al. Physicochemical characterization of hemicelluloses from bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) stem. *Industrial Crops and Products*, v. 37, n. 1, p. 41–50, 2012.
- PUPPO, Humberto Fabrizzi de Figueiredo. Viabilidade técnica da produção de compósitos fibra-polímero à base de resíduos. 2017. 161 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.
- Quinayá D. C. P. Fabricação e Caracterização de Materiais Compósitos Resina Epóxi/Fibras de Bucha (*Luffa cylindrica*). Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Rio de Janeiro - Puc-Rio, 2017.
- Ramamoorthy, Sunil Kumar, Mikael Skrifvars e Anders Persson. 2015. "A Review of Natural Fibers Used in Biocomposites: Plant, Animal and Regenerated Cellulose Fibers". *Polymer Reviews* no. 55 (1):107-162. <https://doi.org/10.1080/15583724.2014.971124>.
- RAMBO, Carlos Renato. Materiais avançados inspirados na natureza: estruturas celulares, fibras e compósitos. *Exacta, UNINOVE*, v. 4, jan.-jun. 2006. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81040109>>. Acesso em: 25 out. 2018.
- ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. Meio Ambiente e Sustentabilidade. Porto Alegre: Bookman, 2012
- Rowell, R. M.; Han, J. S. & Rowell, J. S. - "Characterization and Factors Affecting Fiber Properties", in: *Natural Polymers and Agrofibers Based Composites, Section II - Agrofibers Composites*, p.115, Elisabete Frollini et al. (ed.). Embrapa Instrumentação Agropecuária Ed., São Carlos-SP (2000).
- SALDANHA, L. K. Alternativas tecnológicas para a produção de chapas de partículas orientadas "OSB". 2004. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- SHELLER, H. V.; ULVSKOV, P. Hemicelluloses. *Annual Review of Plant Biology*, v. 61, p. 263–289, 2010.
- Schmid, Aida Valadas de Lima e Luísa. 1996. "Questões ambientais — conhecimentos, preocupações e sensibilidade". *Análise Social*, 205-227

- SILVA, D. A. L. E. A. Life cycle assessment of wood-based composites: state-of-art and opportunities for reducing enviromental impacts. In: LAHR, F. A. R.; SAVASTANO JUNIOR, H.; FIORELLI, J. Non-conventional vuilding materials based on agro-industrial wastes. Bauru: Tiliform, 2015. p. 143-178.
- Silva, R. V. d.. "Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais ", Universidade de São Paulo, 2003
- TARGA, G. N. Compósito Reforçado por Laminado de Bambu com Matriz de Poliuretano e Epóxi: Desenvolvimento, Produção e Caracterização Mecânica. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2011.
- TEUBER, L.; OSBURG, V-S.; TOPOROWSKI, W.; MILITZ, H.; KRAUSE, A. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation. Journal of Cleaner Production 110: 9-15, 2016.
- THAKUR, V. K.; THAKUR, M. K.; KESSLER, M. R. (EDS.). Handbook of Composites from Renewable Materials. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2017.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de Eucalyptus globulus, E. pellita e E. acmenoides. IPEF, Piracicaba, n. 36, p. 35-42, 1987.
- TRIANOSKI, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada. 260 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2010.
- Vaidya, Uday Kumar. Biobased bamboo composite development. United States: N. p., 2017. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1400154>.
- VALARELLI, I. D. – Tese de Livre Docência: Painéis de Partículas de Materiais Alternativos: Produção e Avaliação de Desempenho. UNESP – Bauru/SP (2016 p.166).
- VASCONCELLOS, R. M. de. Cartilha de Fabricação de Moveis de Bambu. Maceió: Instituto do Bambu, 2004.
- Ventura A.M.; Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas; Ciência & Tecnologia dos Materiais, Vol. 21, n.º 3/4, Portugal, 2009
- VILAR, W. Química e tecnologia dos poliuretanos. 3 ed. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004.

- VITAL, B.R.; HASELEIN, C.R.; DELLA LUCIA, R.M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). *Revista Árvore*, Viçosa, v.16, n.1, p.88-96, 1992.
- WATKINSON, P. J.; VAN GOSLIGA N. L. Effect of humidity on physical and mechanical properties of New Zealand wood composites. *Forest Products Journal*, v.40, n.7-8, p.15-20, 1990
- WOODSON, G. E. Properties of Medium-Density Fiberboard related to hardwood specific gravity. In: Tenth Particleboard Symposium, Washington State University, Pullman, p.175-192, 1976.
- WPIF. (2011). Wood Panel Industries Federation. Disponível em: <http://www.wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/03_%20Section%201%20TRADA%20V3%2021_04.pdf>. Acesso em: 18 de dez. 2018.
- YOUSSEFIAN, S.; RAHBAR, N. Molecular Origin of Strength and Stiffness in Bamboo Fibrils. *Scientific Reports*, v. 5, p. 11116, 2015.
- ZHOU, F. C. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. *Journal of Nanjing Technology College of Forest Products*, v. 2, p.1-32, 1981.