



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS MOSSORÓ
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANDRÉ HENRIQUE BRANDÃO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO COMPÓSITO PRODUZIDO DA TALA DO BURITI

MOSSORÓ/RN

2019

ANDRÉ HENRIQUE BRANDÃO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO COMPÓSITO PRODUZIDO DA TALA DO BURITI

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró para a obtenção do Título de Bacharel em engenharia mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar

MOSSORÓ/RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

d586c da silva, andre henrique brandao . Caracterização Mecânica Do Compósito produzido Da Tala Do Buriti / andre henrique brandao da silva. - 2019. 65 f.: il.

Orientador: Zoroastro Torres Vilar.

Co orientador: Zoroastro Torres Vilar.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Mecânica, 2019.

1. Tala de Buriti. 2. Compósito sanduiche. 3. Hand Lay Up. 4. Caracterização mecânica. 5. Densidade. I. Vilar, Zoroastro Torres, orient.

II. Vilar, Zoroastro Torres, co-orient. III.

Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANDRÉ HENRIQUE BRANDÃO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO COMPÓSITO PRODUZIDO DA TALA DO BURITI

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.

APROVADO EM: 22/03/2019

BANCA EXAMINADORA

Zoroastro Torres Vilar

Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar - UFERSA

Presidente

Ramon Rudá Brito Medeiros

Prof. MCs. Ramon Rudá Brito Medeiros - UFC

Primeiro Membro

Dácio Germano Xavier Rebouças Júnior

Eng. Dácio Germano Xavier Rebouças Júnior – UFERSA

Segundo Membro

Arnaldo Batista (in memoriam), que foi meu avô e pai, pelo seu imenso cuidado e amor enquanto se fez presente em minha vida.

Ao meu **Deus**, por minha vida, por minha saúde, por ter me abençoado durante toda essa caminhada acadêmica.

Aos meus queridos pais, **Alcinda Brandão da Silva e José Adenildo Silva**, pelos conselhos que me ajudaram a seguir os caminhos certos, dando-me sempre amor paciência além de priorizar sempre minha educação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, o autor de toda a minha trajetória, pelo seu infinito amor e misericórdia.

Especialmente aos meus queridos pais, Alcinda Brandão da Silva e José Adenildo Silva pelo amor, apoio, carinho, paciência e dedicação. Por todas as coisas abdicadas até hoje em prol do meu crescimento e aprimoramento, pela compreensão, pela confiança e pelo belo exemplo de vida.

A minha irmã, Emmanuelle Yasmin Brandão, pelo apoio e as dicas que me ajudaram a concluir o curso engenharia mecânica.

A minha avó, Severina Isabel da Silva que me criou e meu deu carinho e amor.

A minha namorada Luara Ribeiro Viana que me ajudou na conclusão desta jornada, me dando apoio e ficando ao meu lado em momentos difíceis.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA campus Mossoró, aos professores (as) que estiveram presentes durante toda a minha caminhada na realização do curso engenharia mecânica, por terem contribuído de forma direta ou indiretamente na minha formação;

Ao meu professor orientador, Zoroastro Torres, a qual tenho grande admiração desde o princípio, suas orientações foram essenciais nesta etapa da minha vida. Obrigada pela paciência, por compartilhar seus conhecimentos e principalmente por acreditar na minha capacidade.

Aos meus amigos e amigas que acompanharam minha jornada na realização do curso Bacharel em Ciência e Tecnologia, em especial a Diego Ramos, Jefferson Campos, Felipe Ricardo, Daniel Rodrigues, Alexandre Adler, Jairo Luiz, Ranielton Silva, Pedro Henrique.

Aos meus amigos e amigas que acompanharam minha jornada na realização engenharia mecânica, em especial Lucas galego, Alison estrela.

RESUMO

A sociedade sempre buscou combinações com a finalidade de produzir um material novo, com isso surgiu os compósitos sanduiches, estes materiais são capazes de unir as características positivas de cada um dos seus componentes nos seus produtos, tendo assim as melhores qualidades de cada um. O objetivo deste trabalho foi fabricar e caracterizar mecanicamente compósitos obtidos a partir da fibra da tala de buriti, propondo assim, uma alternativa de material de núcleo em compósitos sanduiches. Foram desenvolvidos dois tipos de materiais, todos utilizando resina poliéster cristal R190 e utilizando o processo de produção Hand Lay Up (HL), variando a montagem um utilizavam fibra de vidro, resina e buriti, o outro utilizava resina e buriti. Também foram analisadas propriedades de densidade e expansão provocada pela água. Para isso foi utilizado as normas ASTM D3039, para ensaio de tração, ASTM D790 para ensaio de flexão e a ABNT NBR 7190. As tensões de tração encontradas para os compósitos sanduiches de buriti foram as que apresentaram os melhores resultados, sendo superiores as de fibra e resina. Nos ensaios de flexão as que tiveram melhores resultados foram as com apenas fibra e resina, as que continham buriti apresentaram esmagamento e flambagem antes do rompimento, por fim as densidades encontradas foram de 62,57 Kg/m³ ficando a baixo da média do mercado tendo também baixa contração e expansão das suas fibras. Deste modo a fibra natural de buriti é excelente para aplicações de tração e quando se deseja baixo peso.

Palavras chaves: Tala de Buriti. Compósito sanduiche. Hand Lay Up. Caracterização mecânica. Densidade.

ABSTRACT

The society has always sought combinations with the purpose of producing a new material, with the result that the composite sandwiches were created. These materials are capable of uniting the positive characteristics of each of its components in its products, thus having the best qualities of each. The objective of this work was to mechanically fabricate and characterize composites obtained from the buriti splice fiber, thus proposing an alternative of core material in composite sandwiches. Two types of materials were developed, all using R190 crystal polyester resin and using the Hand Lay Up (HL) production process, with one using glass fiber, resin and buriti, the other using resin and buriti. Water density and expansion properties were also analyzed. For this, the standards ASTM D3039, for tensile test, ASTM D790 for flexural test and ABNT NBR 7190 were used. The tensile tensions found for the buriti sandwich composites were the ones that presented the best results, being superior to those of fiber and resin. In the flexural tests the ones that had better results were those with only fiber and resin, those that contained buriti presented crushing and buckling before the rupture, finally the found densities were of 62,57 kg / m³ being below the average of the market having also low contraction and expansion of their fibers. In this way the natural buriti fiber is excellent for traction applications and when low weight is desired.

Key words: Tala de Buriti. Composite sandwich. Hand Lay Up. Characterize mechanically. Density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Organização das fibras no interior do compósito.	19
Figura 2- Tipos de grã direito e irregular.	20
Figura 3- Constituição de painéis sanduíches.	21
Figura 4- Processo de produção Hand Lay Up.	22
Figura 5- Processo de produção Resin Infusion Transfer Moulding.	23
Figura 6- Processo de produção Pre-imPregnated.	23
Figura 7 – Metro produzido para empresa amorim cork.	24
Figura 8- Palmeira de Buriti.	25
Figura 9 – Folha da palmeira de buriti.	26
Figura 10- Figura ilustrativa do ensaio de flexão com 3 e 4 pontos	27
Figura 11- Eixos principais do crescimento da madeira.	28
Figura 12- Defeitos gerados pela variação de umidade na madeira.	29
Figura 13- Fluxograma das etapas desenvolvidas no trabalho	30
Figura 14- Fluxograma das etapas de desenvolvimento dos compósitos.	32
Figura 15- Processo de retirada do tala do Buriti.	33
Figura 16- Dimensões do corpo de prova de ensaio de tração.	34
Figura 17- Dimensões do corpo de prova para o ensaio de flexão.	36
Figura 18- Dimensões do corpo de prova de ensaio de umidade.	38
Figura 19- Corpos de prova de ensaio de tração, flexão e umidade na estufa.	38
Figura 20- Corpos de prova imersos em água para ensaio de absorção.	39
Figura 21- Garra da máquina preparada para ensaio de tração.	41
Figura 22 -Garra da máquina preparada para ensaio de flexão.	41
Figura 23- CPs após os ensaios de tração e flexão	42
Figura 24- Corpo de provas antes e depois do ensaio de absorção de água.	47
Figura 25- Momento de ruptura dos CP1 e CP3 no ensaio de tração.	51
Figura 26- Corpos de prova falhados por esmagamento ou escorregamento.	52
Figura 27- Primeira etapa da flexão do compósito CP1.	54
Figura 28- Segundo etapa da flexão do compósito CP1 (esmagamento).	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Matérias utilizados na elaboração do compósito e equipamentos utilizados para o seu ensaio.....	31
Tabela 2- Variações de CPs para ensaio.....	31
Tabela 3– Norma ASTM D3039/D-00 de padronização para ensaios de tração.....	33
Tabela 4– Norma ASTM D790-90 de padronização para ensaios de flexão.....	36
Tabela 5- Media da densidade aparente.....	43
Tabela 6- Variação volumétrica do CP seco para o CP saturado.	46
Tabela 7- Densidade absoluta($\rho_{(abs)}$) do buriti	48
Tabela 8- Força e deslocamento máximos de tração.....	50
Tabela 9- Força e deslocamento máximos de flexão	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Gráfico da perda de massa em porcentagem pelo processo de secagem versus tempo.....	44
Gráfico 2- Gráfico da perda volumétrica em porcentagem pelo processo de secagem versus tempo.....	45
Gráfico 3- Gráfico do ganho volumétrico em porcentagem pelo processo de absorção de água pelo tempo.....	46
Gráfico 4- Gráfico do ganho de massa em porcentagem pelo processo de absorção de água pelo tempo.....	49
Gráfico 5 -Comparativo do CP Tensão X Deformação para tração.....	50
Gráfico 6- Comparativo do CP Tensão X Deformação para flexão.	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 JUSTIFICATIVA.....	15
3 OBJETIVOS DO TRABALHO	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
4.1 MATERIAS COMPOSITOS.....	17
4.1.1 Compostos Poliméricos	17
4.1.2 Fibras.....	18
4.2 FIBRAS VEGETAIS	19
4.2.1 Arranjos de fibras naturais e formas	19
4.3 ESTRUTURAS DOS PAINÉIS SANDUICHES	20
4.4 PROCESSOS DOS MATÉRIAS POLIMÉRICOS.....	22
4.5 USO DE COMPÓSITOS DE PAINÉIS SANDUICHES NA INDÚSTRIA.....	24
4.6 BURITI E SUAS CARACTERÍSTICAS	25
4.7 ENSAIO DE TRAÇÃO	26
4.8 ENSAIO DE FLEXÃO.....	27
4.9 ENSAIO DE UMIDADE	27
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS ADOTADOS	30
5.1 MATERIAIS	30
5.2 EXTRAÇÃO DO BURITI.....	32
5.3 ELABORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO	33
5.4 ELABORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE FLEXÃO.....	35
5.5 SECAGEM E ELABORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TAXA DE UMIDADE.	37
5.6 ENSAIO DE TRAÇÃO E FLEXÃO	41

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1 SECAGEM E ABSORÇÃO	42
6.2 ENSAIO DE TRAÇÃO	49
6.3 ENSAIO DE FLEXÃO	52
7. CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	56
APÊNDICE A- TABELA DE PERDA DE MASSA PELO PROCESSO DE SECAGEM.	60
APÊNDICE B- TABELA DE PERDA DE MASSA PELO PROCESSO DE SECAGEM.	61
APÊNDICE C- TABELA DE PERDA VOLUMÉTRICA PELO PROCESSO DE SECAGEM.	62
APÊNDICE D- TABELA DE GANHO DE MASSA PELO PROCESSO DE ABSORÇÃO.	63
APÊNDICE E- TABELA DE GANHO VOLUMÉTRICO PELO PROCESSO DE ABSORÇÃO.	64
ANEXO A- TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA EM EQUILÍBRIO COM A TEMPERATURA E A UMIDADE RELATIVA.	65

1 INTRODUÇÃO

Segunda a Almeida (2009) e a Gagliardo e Mascia (2010), a sociedade sempre correu atrás de combinações com a finalidade de produzir um material novo, e isso cresceu após a segunda guerra mundial com finalidade de melhoramento da velocidade e resistência dos aviões produzidos na época, uma destas invenções foi a produções de painéis sanduíches, estes painéis são capazes de unir as características positivas de cada um dos matérias que ele foi composto tendo assim elevado grau de rigidez e elevada resistência com um baixo peso, com isso podendo eliminar até algumas características negativa.

Estes compósitos sanduiches são formados tipicamente de três partes, particularmente divididas em matriz polimérica, que é um aglomerado físico responsável por envolver os segmentos representando assim o formato do objeto; laminas ou fibras podem ser divididos em metálicas e não metálicas, sendo as metálicas podem ser aços inox, alumínio ou cobre, já as não metálicas são as mais populares que podem ser desde fibra natural (madeira) ou fibra sintéticas (carbono, vidro ou aramida); por fim o material de núcleo, sendo estes assim como as laminas, também podem ser constituídos de fibras naturais ou sintéticas.

As matrizes poliméricas de acordo com Pinto (2002), são longas cadeias moleculares podendo ser biológicas ou inorgânicas. Os polímeros podem ser divididos em dois segmentos os termoplásticos e os termofixos.

Já as laminas ou fibras, são estruturas com uma secção transversal reduzida e tem uma relação proeminente entre o comprimento e diâmetro, além de ter um corpo cilíndrico flexível e pequeno. Podendo ser divididas em de origem naturais, vegetais e sintéticas. As organizações destas fibras quando se forma um compósito podem ser divididas em fibras contínuas podendo ser unidirecional ou bidirecional, e descontínuas (também chamadas de fibras curtas ou Whiskers), podendo ser unidirecional ou aleatoriamente alinhadas, como mostrado na figura 1 (VIANA,2017).

De acordo com Tita (2007), O núcleo, deve conservar o distanciamento das faces e ser suficientemente firme na direção vertical a elas, a fim de impedir o esmagamento, e sua solidez ao cisalhamento transversal deve ser preparado o suficiente para assegura que o conjunto permaneça rígido.

Sendo assim o objetivo deste trabalho consiste em estudar e avaliar as propriedades mecânicas do compósito natural extraído do interior das talas do Buriti, com intuito de agregar valores a essa parte que é frequentemente descartada.

Desta forma podemos dividir este trabalho nas seguintes partes.

Na primeira parte deste trabalho, foi destacado alguns pontos relevantes para discursão do mesmo. Apresentou-se também as definições e classificações de fibras, de matrizes poliméricas e dos materiais de núcleo além das variações dos processos de produção dos materiais poliméricos.

Na segunda parte deste estudo foi exposta a metodologia utilizada para chegarmos aos objetivos, onde para isso foram utilizadas as normais ASTM D3039 para ensaio de tração, ASTM D790 para ensaio de flexão e por fim para caracterização do material foi utilizada a norma ABNT NBR 7190, onde encontramos os valores de densidade relativa, densidade absoluta e tempo para iniciação da degradação, além do nível de deformação volumétrica pela humidade.

Na última parte deste trabalho foi discutida os resultados obtidos pelas as normas citadas anteriormente, além de problemas identificados no processo para ensaiar os compósitos, tantos pelo o processo de tração quanto pelo processo de flexão, ocasionados pela macieis do buriti.

2 JUSTIFICATIVA

Existe uma grande importância na procura por matérias mais leves e resistentes na área aeroespacial, isso porque estas características se convertem em maior resistência a fadiga e menor consumo de combustível. Além disso, o Brasil engloba uma diversidade notável em sua fauna, e com isso destacando assim o uso de materiais naturais na engenharia. Com este contexto a fibra do buriti se destaca em vários aspectos tendo em vista que tem densidade mais de 3 mil vezes menor que a madeira de balsa, sendo extremamente aplicável na área aeroespacial (SANTOS, 2016).

A fibra de buriti, principal foco deste estudo, é uma espécie de palmeira conhecida com nome científico *Mauritia flexuosa L.f.*, é muito utilizada na região norte e nordeste, a principal comercialização gira em torno do fruto, que é utilizado na produção de doces e na confecção receitas regionais, esse fruto também é utilizado na produção de vinhos e é de onde se retira o óleo. Outra parte muito utilizada é o pecíolo ou tala (parte interna das folhas adultas) esta parte é utilizada na produção de brinquedos e no artesanato, porém foi também observado que esta parte do buriti poderia ter propriedades físicas além de baixa densidade que lhe proporciona leveza (BARBOSA, 2011).

O estudo deste resíduo natural seria mais uma alternativa econômica para as regiões em que a planta se encontra, pois, seria agregado ainda mais valor econômico a planta, além de evitar poluição pelo descarte desse “rejeito”. Como também benefícios nas questões econômicas relacionadas as importações, tendo em vista que o estudo visa substituir a fibra de madeira de balsa que atualmente é importada, por uma alternativa nacional, além disso o pecíolo é retirado da parte interna das folhas adultas que poderia ser extraído após aqueda das folhas não danificando a planta (BARBOSA, 2011).

3 Objetivos do Trabalho

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho consiste em estudar e avaliar as propriedades mecânicas do compósito natural extraído do interior das talas do Buriti, com intuito de agregar valores a essa parte que é frequentemente descartada.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtenção de amostras de acordo com a norma específica e com diferentes condições;
- Fazer caracterização mecânica das amostras obtidas;
- Fazer a caracterização de deformação por variação de umidade.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 MATERIAS COMPOSITOS

De acordo com Pinheiro (2002), matérias compósitas são estruturas constituídas por dois ou mais elementos diferentes ou em estágios distintos.

Estes materiais são formados tipicamente de duas partes, particularmente divididas em matriz sendo estas poliméricas, que é um aglomerado físico responsável por envolver os segmentos representando assim o formato do objeto, e também contém as laminas que podem ser divididos em metálicas e não metálicas. As metálicas podem ser aço inox, alumínio ou cobre, já as não metálicas são as mais populares que podem ser desde fibra natural (madeira) ou fibra sintéticas (carbono, vidro ou aramida).

4.1.1 Compostos Poliméricos

De acordo com Pinto (2002), os polímeros são longas cadeias moleculares podendo ser biológicas ou inorgânicas. Os polímeros podem ser divididos em dois segmentos os termoplásticos e os termofixos.

Os termofixos são compósitos que no seu enrijecimento sofrem reações químicas cruzadas, estas por sua vez formam uma estrutura tridimensional capaz de ocorre a quente ou até mesmo a frio, esta possibilidade é dada graças ao seu agente curante ou catalizador, porém os termofixos são irreversíveis, ou seja, uma vez curados não há como reprocessa-los (PINTO,2002).

Os termoplásticos são aqueles compósitos que quando aquecidos até seu ponto fusão se tornam rígidos, porem ao contrário dos termofixos podem ser reaquecidos, dissolvidos e reutilizados para outras aplicações (PINHEIRO, 2008; PINTO,2002).

Dentre estes polímeros, os compostos termofixos do tipo resina epóxi, segundo a Pires et al. (2012) e Silva (2017), se encontra dentro das classes mais versáteis. Este composto é muito utilizado em partes rígidas de aplicações elétricas, artigos esportivos, adesivos, sendo também muito utilizada para matrizes reforçadas com fibras de componentes automotivos e aeroespaciais.

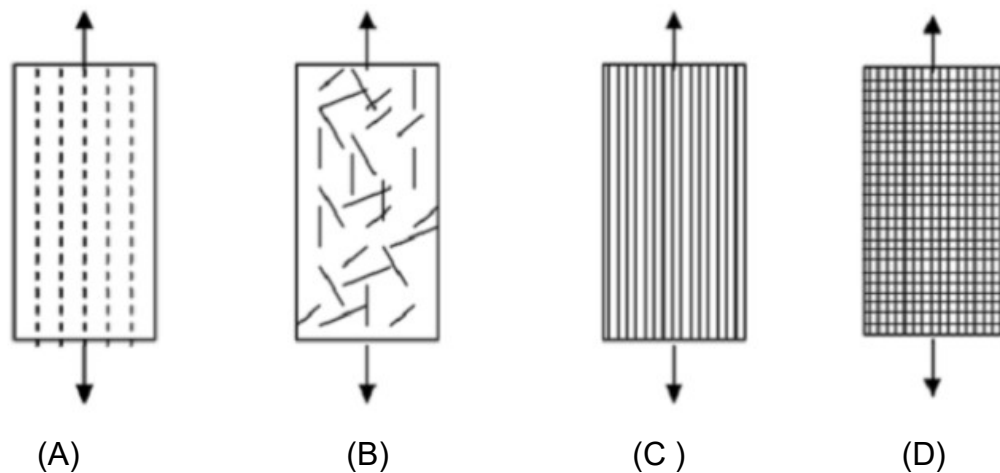
Ainda segundo a Pires et al. (2012), as resinas do tipo epóxi exibem características distintas comparadas as outras resinas do mesmo grupo, maior familiaridade as fibras naturais, com maior resistência a tração e tenacidade, melhores qualidades químicas, de umidade e de corrosão, tendo em vista que segundo a Pinheiro (2008), as resinas de outros tipos tem uma taxa de solidificação que varia entorno de 50% a 60% com uma taxa de contração de aproximadamente 8%, após curada, as do tipo epóxi ficam entorno de 100% em sua grande maioria com uma taxa de contração de apenas 2%. Sendo assim este baixo nível de contração faz com que minimize o grau de tensões internas incorporado no compósito.

Levando em consideração as características levantadas por Pires et al. (2012) e Pinheiro (2008), a resina do tipo epóxi é a matriz polimérica mais apropriada para estudo, sendo está a mais capaz de transmitir esforços diretamente a fibra e se incorpora a fibras naturais, porém as resinas poliéster é mais economicamente viável tendo em vista que, elas são até quatro vezes mais baratas que epóxi.

4.1.2 Fibras

As fibras são estruturas com uma secção transversal reduzida e tem uma relação proeminente entre o comprimento e diâmetro, além de ter um corpo cilíndrico flexível e pequeno. Podendo ser divididas em de origem naturais, vegetais e sintéticas. As organizações destas fibras quando se forma um compósito podem ser divididas em fibras continuas podendo ser unidirecional ou bidirecional, e descontínuas (também chamadas de fibras curtas ou Whiskers), podendo ser unidirecional ou aleatoriamente alinhadas, como mostrado na figura 1 (VIANA,2017).

Figura 1- Organização das fibras no interior do compósito.



Fonte: BAPTÍSTA, (2016)

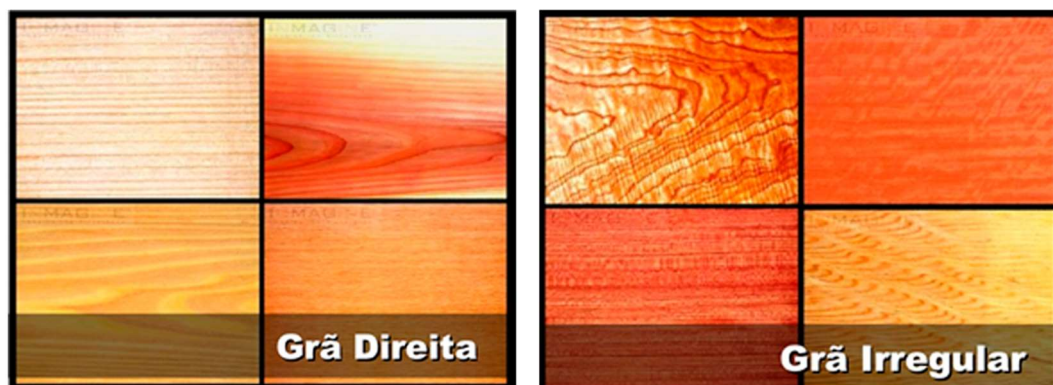
Na Figura 1 mostra a subdivisão dos arranjos de tipos de estruturas internas dos compósitos, onde (A) fibras descontínuas unidirecionais; (B) fibras descontínuas aleatórias; (C) fibras contínuas unidirecionais; (D) fibras contínuas perpendiculares.

4.2 FIBRAS VEGETAIS

4.2.1 Arranjos de fibras naturais e formas

Segundo a Moreschi (2014), os tipos de organização da formação das fibras de madeira também chamadas de Grã, está dividido a parti de um elemento vertical retirado do lenho da arvore, podendo ser divididos em grã direita e grã irregular, como mostrado na figura 2, esta orientação é caracterizada pelo padrão de crescimento da espécie.

Figura 2- Tipos de grã direito e irregular.



Fonte: ZENID; CECCANTINI, (2007)

Na fFigura 2, mostra cortes de elementos verticais de algumas arvores, mostrado como se pode varia sua estrutura podendo ser do tipo direita ou do tipo irregular.

A grã do tipo direto ou reto segundo Zenid; Ceccantini (2007) e Moreschi (2014), os elementos da fibra da arvore assume um sentido mais constantemente paralelo à o do eixo do tronco da planta.

Este a rancho constitui a estrutura uma maior resistência a cargas mecânicas, a além de ser mais simples o seu processamento, além de não provocar deformações indesejadas provocas pelo o processo de secagem das fibras (MORESCHI, 2014).

Já as grãs do tipo irregular não apresentam um arranjo tão constante e sendo ainda subdivididas em Grã espiral, Grã entrecruzada, Grã ondulada ou Grã diagonal. Estes arranjos estruturais por sua vez tem um comportamento mais ornamentais, principalmente as do tipo radiais (MORESCHI, 2014).

4.3 ESTRUTURAS DOS PAINÉIS SANDUICHES

Segunda a Almeida (2009) e a Gagliardo e Mascia (2010), a sociedade sempre correu atrás de combinações com a finalidade de produzir um material novo, e isso cresceu após a segunda guerra mundial com finalizada de melhoramento da velocidade e resistência dos aviões produzidos na época, uma destas invenções foi a produções de painéis sanduíches, estes painéis são capazes de unir as características positivas de cada um dos matérias que ele foi composto tendo assim

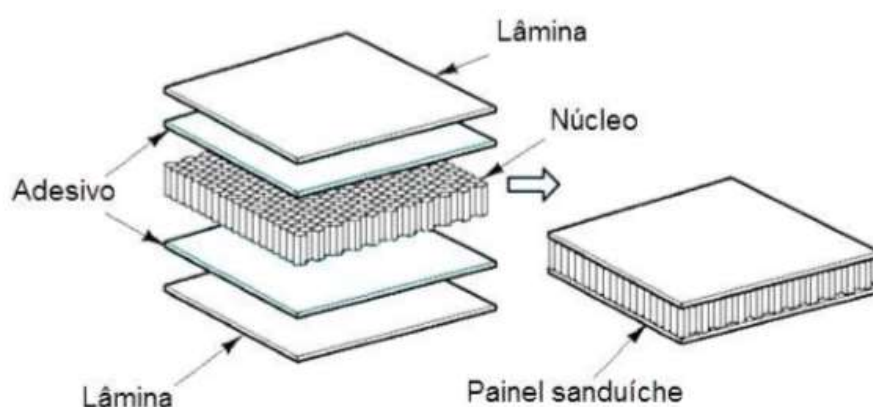
elevado grau de rigidez e elevada resistência com um baixo peso, com isso podendo eliminar até algumas características negativa.

No início o custo era muito elevado para o desenvolvimento destes painéis, porém por volta de 1990 os custos para o seu desenvolvimento começaram a cair, e ligado à procura do mercado por meterias mais leves e resistentes fez com que aceitação destes compósitos crescessem (ALMEIDA ,2009).

Segundo a Gagliardo e Mascia (2010) e Almeida (2009), estes compósitos além de ser formados com por uma matriz polimérica (adesivo) e por uma lamina, também são compostas por um núcleo, sendo estes também, como as laminas, podem ser constituídos de fibras naturais ou sintéticas, como mostrado na Figura 3, e também podem ser compostos por 1 ou mais camadas.

De acordo com Tita (2007), estas composições compõem um tipo especial de compósito. As faces têm a papel de lidar com as tensões compressão ou cisalhamento associadas à flexão e com as normais de tração. O núcleo, contudo, deve conservar o distanciamento das faces e ser suficientemente firme na direção vertical a elas, a fim de impedir o esmagamento, e sua solidez ao cisalhamento transversal deve ser preparado o suficiente para assegura que o conjunto permaneça rígido.

Figura 3- Constituição de painéis sanduíches



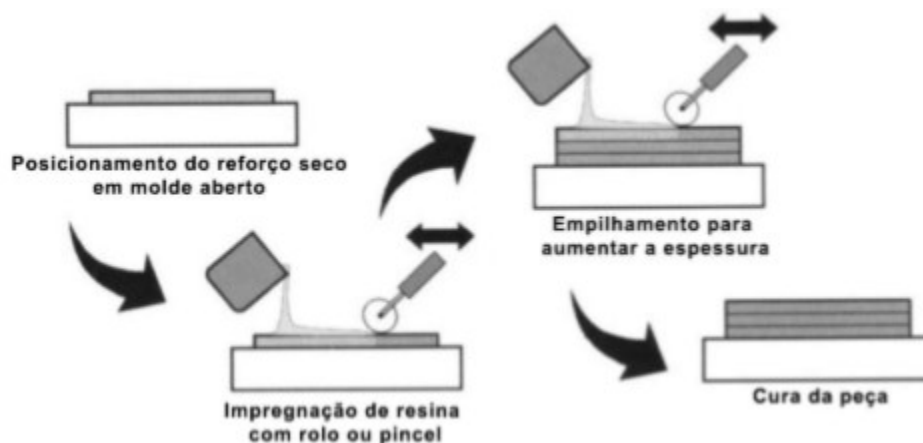
Fonte: ALMEIDA, (2009).

Na Figura 3, mostra as camadas dos compósitos de painéis sanduiches, constituídos por lâmina de fibra, podem ser sintéticas como fibra de carbono ou fibra de vidro ou até mesmo fibras naturais de madeira, adesivos que são as matrizes poliméricas e por fim o material de núcleo que no nosso caso será a fibra do buriti.

4.4 PROCESSOS DOS MATÉRIAS POLIMÉRICOS

Os processos de fabricação das peças de matriz polimérica basicamente se dividem em 3, O mais simples deles e econômico é o Hand Lay Up (HL). Que consiste basicamente na aplicação de resina sobre a peça e em seguida a retirada do excesso com um rolo ou pincel, como mostrado na Figura 4. Sendo este um processo de fabricação manual e o mais utilizado em processos de grandes peças em baixa escala para a indústria náutica (BELINGARDI; CAVATORTA; SALVATOREPAOLINO, 2008).

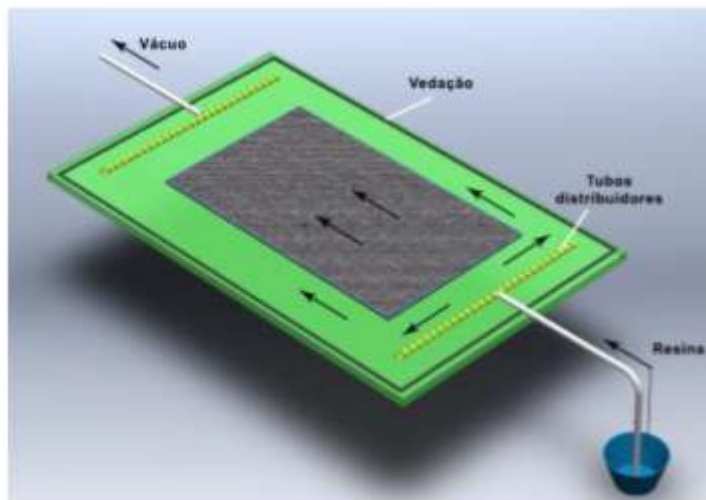
Figura 4-Processo de produção Hand Lay Up.



Fonte: CAMPBELL, (2006)

O segundo o processo é o Resin Infusion Transfer Moulding (RIFT), este processo utiliza um sistema de infusão a vácuo, como mostrado na Figura 5, é um método utilizado para produção de peças de médio e grande porte. Este procedimento é considerado mais dispendioso que o processo HL, pois além da fibra e da resina também se gasta com outros materiais como o filme perfurado, manta de absorção, fita e filme de isolamento (KWAI,2016).

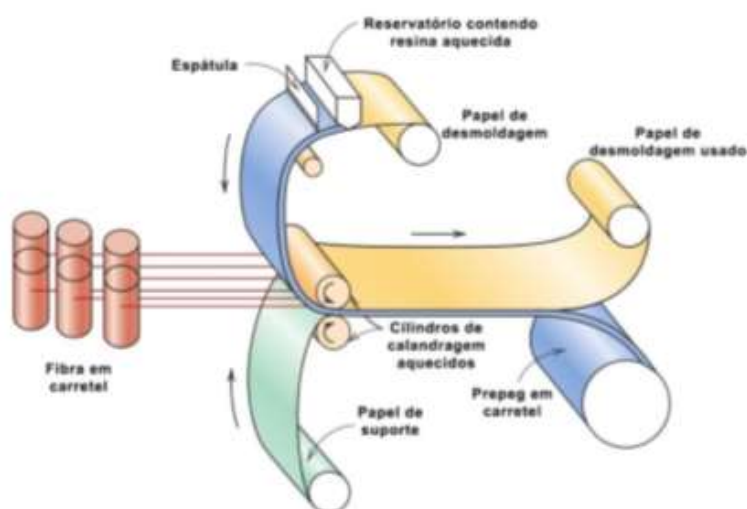
Figura 5- Processo de produção Resin Infusion Transfer Moulding.



Fonte: KWAI, (2016)

O terceiro processo conhecido é o Pre-imPregnated (PP), consiste em uma cobertura de resina catalisada, porém não curada, como mostrado na Figura 6, é muito utilizado na indústria aeroespacial e na de equipamentos esportivos de alto desempenho. O processo consiste em dois rolos que aplicam a resina já pré-aquecida na fibra, estes rolos por sua vez são protegidos por um filme desmoldantes, porém este processo necessita de uma série de especificações como a armazenagem em temperaturas a baixo de 0 °C e todo o conjunto está dentro de um sistema a vácuo (CALLISTER,2002).

Figura 6- Processo de produção Pre-imPregnated.



Fonte: CALLISTER, (2002)

4.5 USO DE COMPÓSITOS DE PAINÉIS SANDUICHES NA INDÚSTRIA

Como dito anteriormente a utilização de compósitos polimérico constituídos por um núcleo, surgiu por volta da segunda guerra mundial no avião conhecido como Havilland Mosquito TT35 TA639 (mosquito), com a utilização da madeira de balsa como material de núcleo, mostrou-se um incrível desempenho e velocidade que este avião inglês teve, convencendo vários projetistas que a tecnologia de painéis sanduíches uma alternativa promissora (ALMEIDA, 2009).

Ainda segundo a Almeida (2009), os compósitos sanduíches só começaram a se disseminar a partir dos anos 50 se espalhando para indústria naval, isso por causa do seu elevado custo, e só alcançando a indústria automotiva em meados dos anos 60.

Atualmente compósitos de núcleo são atualmente utilizadas em diversas áreas como automotiva, rodoviária entre outras, sejam eles de participação civil, militar ou de competição um destes empreendimentos é mostrado na Figura 7, onde este compósito sintético de núcleo Corecork e películas de alumínio, chamado de Alucork®, é utilizado para proporcionar resistência e leveza, além disso esta estrutura proporciona também isolamento térmico e acústico.

Figura 7 – Metro produzido para empresa Amorim Cork.



Fonte: AMORIM CORK COMPOSITES, (2018).

A Figura 7, mostra a utilização de um compósito de núcleo na fabricação de uma cabine de metro onde foi utilizado tanto no ossuário quanto nas paredes oferecendo isolamento térmico e acústico

4.6 BURITI E SUAS CARACTERÍSTICAS

A fibra de buriti, principal foco deste estudo, é uma espécie de palmeira conhecida com nome científico *Mauritia flexuosa* L.f. , representada através da Figura 8, é muito utilizada na região norte e nordeste, a principal comercialização gira em torno do fruto, que é utilizado na produção de doces e na confecção receitas regionais, esse fruto também é utilizado na produção de vinhos e é de onde se retira o óleo para produção de produtos de beleza(BARBOSA, 2011).

Figura 8- Palmeira de Buriti.

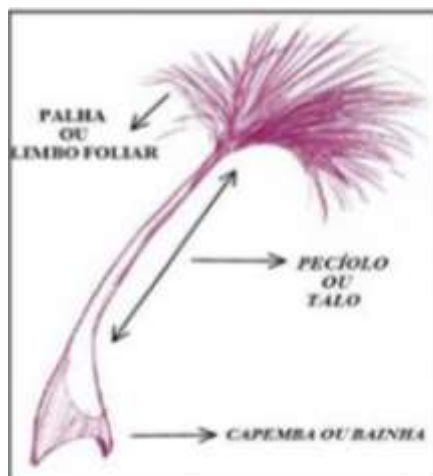


Fonte: BARBOSA, (2011).

Outra parte muito utilizada é o pecíolo ou tala (parte interna das folhas adultas), mostrada na Figura 9, esta parte é utilizada na produção de brinquedos e no artesanato, porém foi também observado que esta parte do buriti poderia ter

propriedades físicas além de baixa densidade que lhe proporciona leveza (BARBOSA, 2011).

Figura 9 – Folha da palmeira de buriti.



Fonte: LIMA, (2017).

O estudo deste resíduo natural seria mais uma alternativa econômica para as regiões em que a planta se encontra, pois, seria agregado ainda mais valor econômico a planta, além de evitar poluição pelo descarte desse “rejeito”. Como também benefícios nas questões econômicas relacionadas as importações, tendo em vista que o estudo visa substituir a fibra de madeira de balsa que atualmente é importada, por uma alternativa nacional, além disso o pecíolo é retirado da parte interna das folhas adultas que poderia ser extraído após aqueda das folhas não danificando a planta (BARBOSA, 2011).

4.7 ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração é um tipo de procedimento destrutivo onde se aplica uma força uniaxial a um corpo de prova normalmente tem suas dimensões em um formato cilíndrico ou retangular, a força é aplicada até sua ruptura podendo assim analisar limite de escoamento e se o material é do tipo frágil a dúctil (Dalcin, 2007).

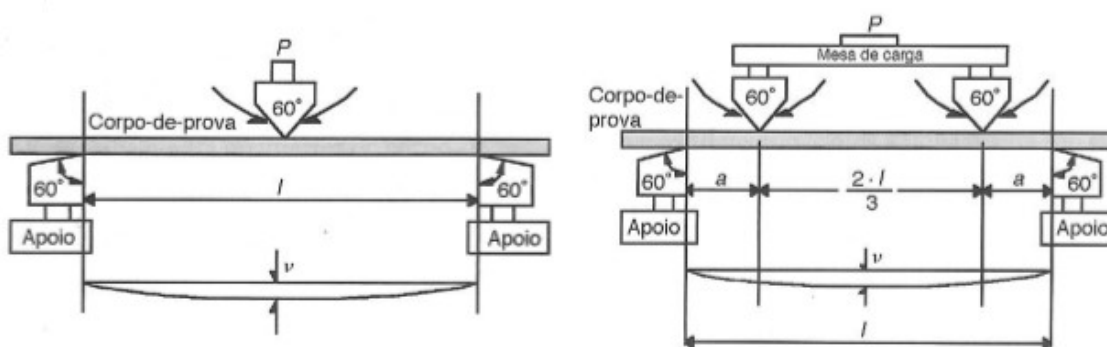
O ensaio é realizado através de um equipamento que fornece a carga aplicada instantaneamente além da extensão resultante, isso com ajuda de extensômetros que os equipamentos contêm.

4.8 ENSAIO DE FLEXÃO

O ensaio de flexão é utilizado para determinar os módulos de Ruptura e de Young sendo muito empregado em vários materiais sendo eles frágeis ou com uma alta dureza ou até mesmo quando a uma dificuldade de realizar outros tipos de ensaios como por exemplo ensaio de tração (Baptista, 2019).

Os ensaios de flexão podem ser divididos em dois tipos, os de três pontos que são aqueles que utilizam uma barra bi apoiada com uma carga no centro. E os de quadro pontos que também utilizam de uma barra bi apoiada, porém a carga aplicada é em dois pontos equidistantes como mostrado a Figura 10 (Baptista, 2019; Dalcin, 2007).

Figura 10- Figura ilustrativa do ensaio de flexão com 3 e 4 pontos .



Fonte: BAPTISTA, (2019).

Segundo a Dalcin (2009) e Baptista (2019), a carga aplicada se transforma em duas reações, a de tração na parte inferior do corpo de prova e a compressão na parte superior, sendo assim a ruptura se inicia pela as fibras inferiores pelo o processo de tração.

4.9 ENSAIO DE UMIDADE

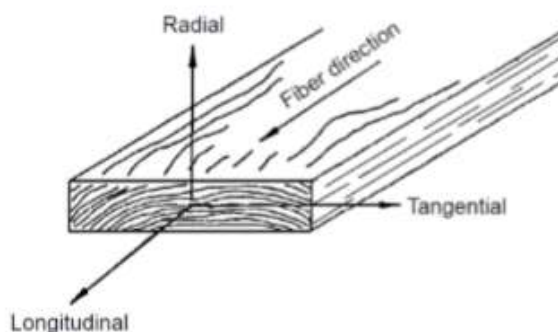
O ensaio de umidade é expressado pela norma ABNT NBR 7190/1997, sendo a umidade definida como quantidade de água presente na madeira. Segundo a Logsdon (1998), o teor de umidade está diretamente ligado a resistência mecânica do

material, sendo a umidade inversamente proporcional a resistência. Além disso madeiras com baixo teor de umidade são excelentes isolantes elétricos.

Um dos maiores desafios para a utilização da madeira como matéria prima na engenharia surgem nas mudanças no teor de umidade ou uma abundância de umidade dentro da madeira variando de acordo com a temperatura e umidade relativa do ar local como mostrado no Anexo A. Sendo que segundo a Glass, S.V. e Zelinka, A.L (2010), as propriedades físicas e mecânicas da madeira variam até que se estabiliza quando passa do ponto de saturação da fibra, que em média fica entorno de 30%, porém este ponto pode variar para alguns pontos percentuais para cada espécie de madeira.

Segundo a Glass, S.V.; Zelinka, A.L ,(2010), a madeira é um material que apresenta variação de suas propriedades físicas (como resistência elétrica e mecânica) variando com seu sentido. Podendo encolher ou inchar até 15% na direção tangencial, a dos anéis de crescimento, cerca de 7% na direção radial dos anéis e apenas 0,1% a 0,2% ao longo do grão (longitudinalmente), representado pela Figura 11.

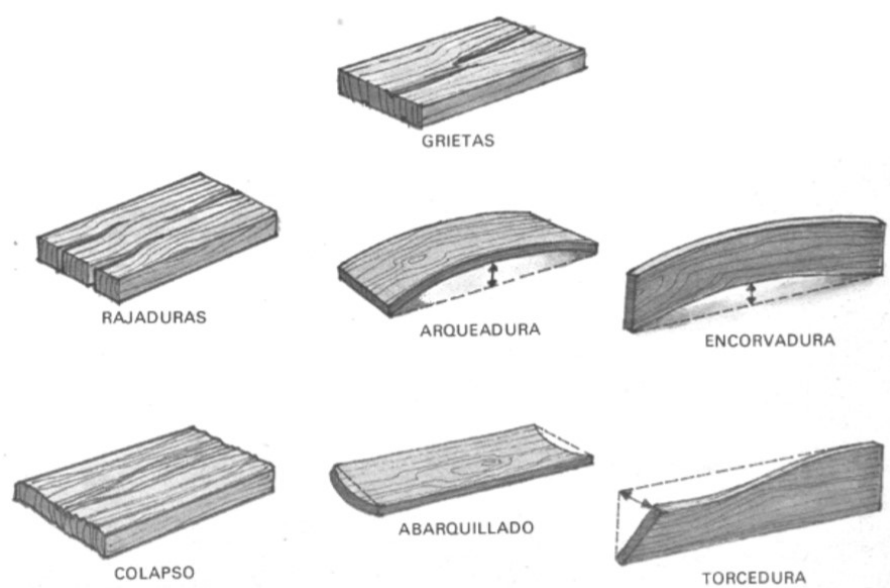
Figura 11- Eixos principais do crescimento da madeira.



Fonte: SANTO, (2018)

Os efeitos de inchamento nas direções tangenciais e radiais dos anéis podem provocar uma serie de defeitos, como mostrados na Figura 12, estes defeitos são o principal motivo da baixa utilização da madeira na indústria. (SANTO, 2018 e Glass, S.V.; Zelinka, A.L ,2010).

Figura 12- Defeitos gerados pela variação de umidade na madeira.

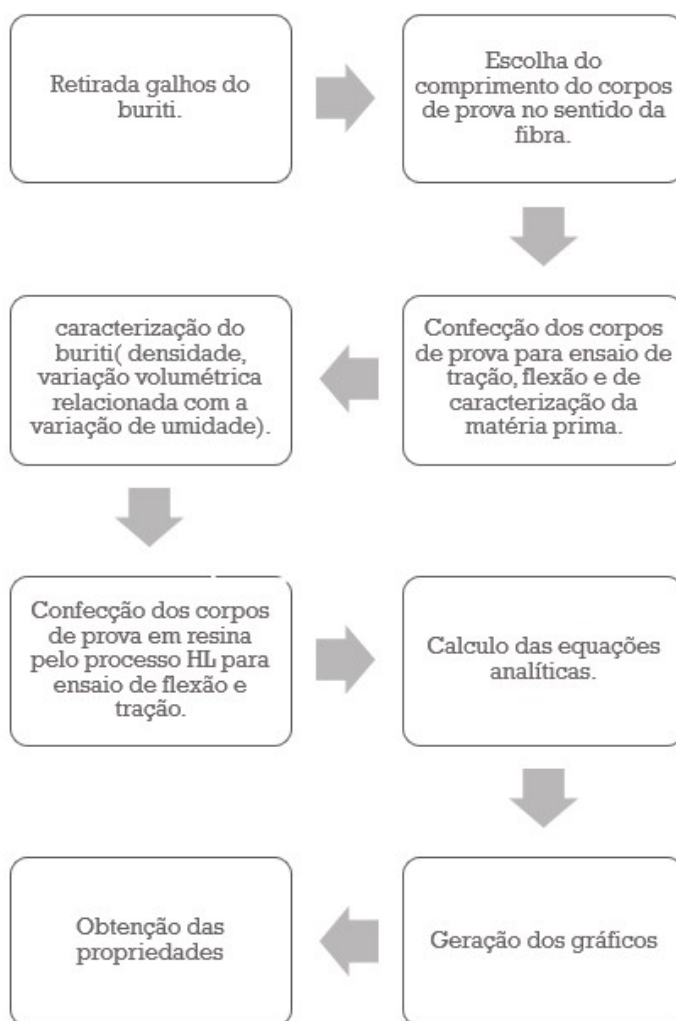


Fonte: SANTO, (2018)

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS ADOTADOS

Este capítulo descreverá os procedimentos adotados no processo de elaboração e caracterização do buriti, desde a elaboração até os cálculos analíticos que serão utilizados e geração dos gráficos, como mostrado na figura 13.

Figura 13- Fluxograma das etapas desenvolvidas no trabalho



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

5.1 MATERIAIS

Os materiais que foram utilizados para a elaboração dos corpos de prova (CP) estão discriminados na Tabela 1.

Tabela 1- Matérias utilizados na elaboração do compósito e equipamentos utilizados para o seu ensaio.

Matérias
Fibra da tala de buriti (material de núcleo)
Fibra de vidro bidimensional
Resina de poliéster cristal R190
Catalizador Butanox
Equipamentos
Máquina para ensaios de tração e flexão - Emic
Estufa digital timer SSD
Balança de precisão

Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Primeiramente todos os corpos de prova passaram por um processo de retirada da umidade para descarta qualquer variação de água que eles possam conter, em seguida utilizou-se a seguinte metodologia que será dividida em três etapas. Onde empregou-se o processo de laminação através do processo HL com uma resina poliéster cristal R190 e um catalizador de Butanox, adicionou-se 1.5% de catalizador para cada grama de resina e aplicou-se sobre um vidro com álcool desmoldante para os três tipos de corpos de prova.

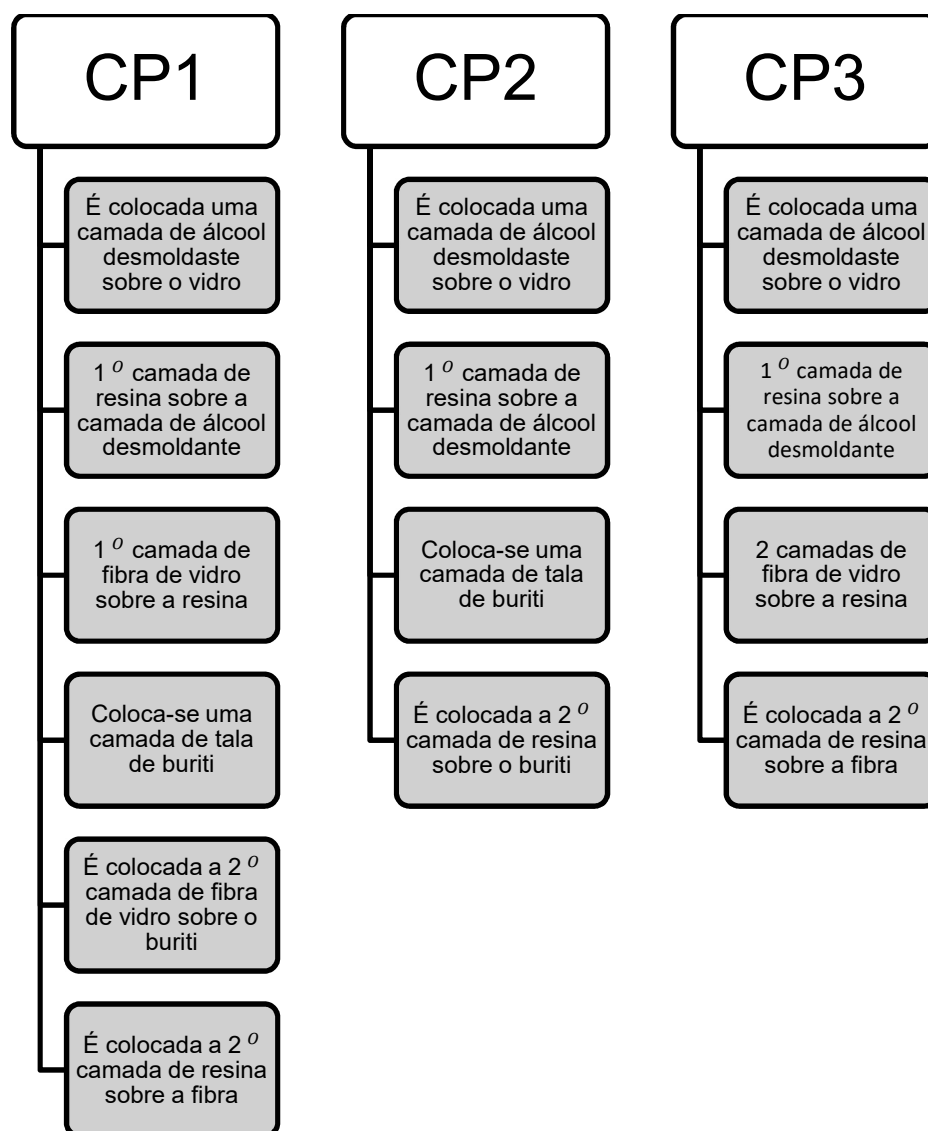
No primeiro corpo de prova a fibra da tala do buriti será utilizado como material de núcleo entre fibras de vidro, no segundo corpo de prova será utilizado somente a fibra da tala do buriti com resina poliéster cristal e também haverá um terceiro corpo de prova, que será o CP de referência, onde será utilizado apenas duas folhas de tecido de fibra de vidro como a matriz polimérica. Descrita na Tabela 2 mostrando as variações dos CPs e esquematizada na figura 14.

Tabela 2- Variações de CPs para ensaio.

CP1	FIBRA DE VIDRO+ BURITI+RESINA (sanduiche)
CP2	BURITI+RESINA
CP3	FIBRA DE VIDRO+RESINA

Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Figura 14- Fluxograma das etapas de desenvolvimento dos compósitos.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

5.2 EXTRAÇÃO DO BURITI

O buriti foi extraído através do processo artesanal, nas proximidades do município de Floriano cidade localizada no estado Piauí. Em seguida retirou-se as folhas das talas e descascou-se as mesmas, para com isso extrair o miolo da tala, como mostrado na Figura 15, que é o foco desta pesquisa. É importante ressaltar que descasque das talas é um procedimento extremamente fácil de executar com uma pequena faca, sendo assim observou-se que o processo de confecção dos perfis é um processo muito simples.

Figura 15- Processo de retirada do tala do Buriti.



Fonte: COSTA E TEIXEIRA (2019)

5.3 ELABORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO

Para a elaboração dos corpos de prova para o ensaio de tração será utilizado a norma ASTM D3039/D-00 mostrada na Tabela 3, onde diz que a velocidade para todas as orientações de fibras sempre será 2mm/min e para o corpo de prova que será ensaiado, que é do tipo simétrico e balanceado, terá dimensões de 25x250x2,5 e utilizara um pano de lixa para fixação do celular de carga como podemos visualizar na Figura 16.

Tabela 3– Norma ASTM D3039/D-00 de padronização para ensaios de tração.

orientação da fibra	L	CT	E	CA	EA	AA
unidirecional 0°	15	250	1	56	1,5	7 ou 90°
unidirecional 90°	25	175	2	25	1,5	90°
balanceada e simétrica	25	250	2,5	pano de lixa	-	-
aleatória e descontínua	25	250	2,5	pano de lixa	-	-

Velocidade de teste: 2mm/ min[0,05in/min].

Fonte: ASTM D3039/D-00

A Tabela 3 mostra as dimensões de acordo com a norma ASTM D3039/00 onde:

E= espessura [mm];

L=largura [mm];

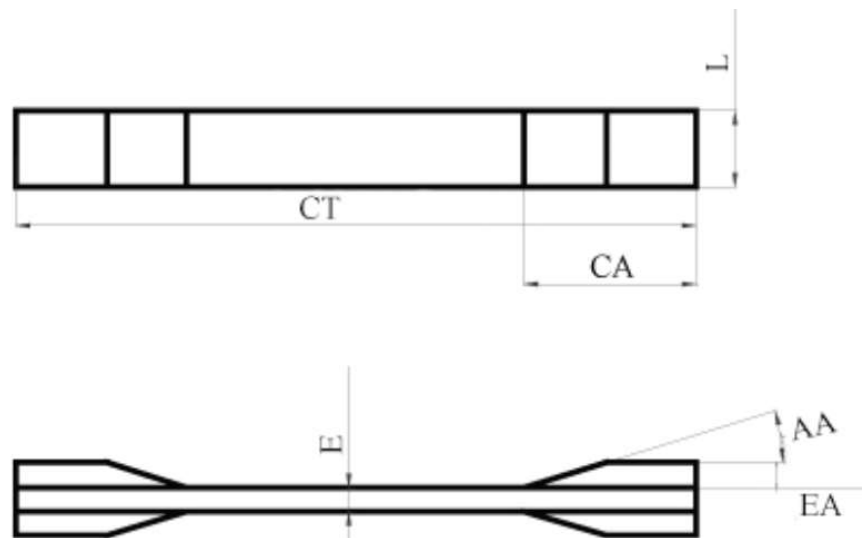
CT=comprimento total [mm];

CA = Comprimento entre bases de apoios [mm];

EA = espessura das bases dos apoios [mm];

AA = Ângulo das bases dos apoios [mm].

Figura 16- Dimensões do corpo de prova de ensaio de tração.



Fonte: ASTM D3039/D-00

No equipamento o corpo de prova é preso por duas garras do equipamento em seguida a máquina distende o corpo de prova a uma velocidade constante tornando possível o fornecimento de tais resultados a partir de gráficos fornecido pelo próprio equipamento e que se dividir a força aplicada pela a área da secção, como mostra a equação 1, podemos achar o gráfico tensão x deformação da estrutura (Dalcin, 2007).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Onde:

P= força aplicada [N]

A= Área da seção transversal [mm²]

σ_t =Tensão de tração [MPa]

Além da tensão também podemos encontrar deformação (ε) utilizada para calcular o módulo de elasticidade

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Onde:

Δl =variação do comprimento (l_0-l_f);

l_0 = comprimento inicial.

E por fim dentro do regime elástico, e utilizando o gráfico da tensão pela deformação correspondente e utilizando a equação 2 pode-se obter o módulo de elasticidade na tração (E), recomendada pela norma.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

5.4 ELABORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE FLEXÃO

Para o ensaio de flexão será utilizado a norma para ensaio de 3 pontos, no qual para a elaboração dos corpos de prova para este tipo de ensaio será utilizado a norma ASTM D790-90, onde seguindo a Tabela 4 e auxiliado pela Figura 17, poderemos encontrar todas as dimensões do corpo de prova, diferente do ensaio de tração, para este ensaio a velocidade será determinada de acordo com as dimensões do corpo de prova, onde com as mediadas utilizadas para elaboração dos corpos de prova que foram de 80mm de distância entre apoios e 4,8 mm de espessura, com isso a velocidade utilizada foi de 2 mm/min.

Tabela 4– Norma ASTM D790-90 de padronização para ensaios de flexão.

E	L	Relação suporte por espessura											
		EA/E=16 para 1			EA/E=32 para 1			EA/E=40 para 1			EA/E=60 para 1		
		C	EA	V	C	EA	V	C	EA	V	C	EA	V
0,8	25	50	16	0,5	50	25	1.3	60	30	2.0	60	48	4.8
1,6	25	50	25	0,5	80	50	2.8	90	60	4.3	124	95	9.4
2,4	25	60	40	1	100	80	4,1	120	95	6.4	185	143	14.2
3,2	25	80	50	1,3	130	100	5.3	180	130	8.4	247	190	18.8
4,8	13	100	80	2	191	150	8.1	240	191	12.7	372	286	28.4
6,4	13	130	100	2,8	250	200	10.9	330	250	17.0	495	381	37.8
9,6	13	191	150	4,1	380	300	16.3	480	380	25.4	744	572	56.8
12,7	13	250	200	5,3	495	410	21.6	640	510	34.0	991	762	76.2
19,1	19	380	300	8,1	740	610	32.5	940	760	50.8	1486	1143	114
25,4	25	495	410	10,9	990	810	43.4	1240	1020	67.8	1981	1524	152

Fonte: ASTM D790-90

A Tabela 4 mostra as dimensões de acordo com a norma ASTM D790-90 onde:

E= espessura [mm]

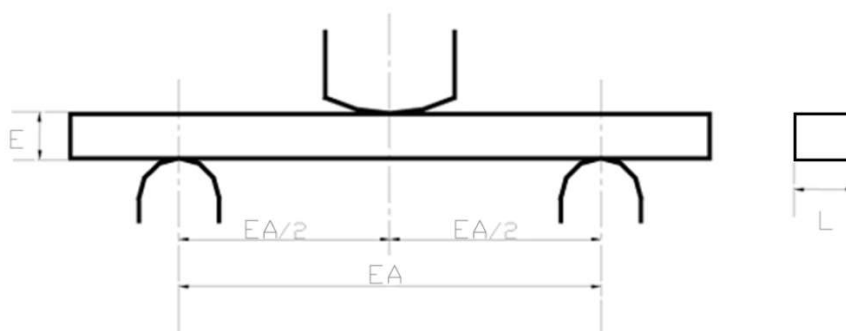
L=largura [mm]

C=comprimento [mm]

EA= espessura entre os apoios [mm]

V= velocidade [mm/min]

Figura 17- Dimensões do corpo de prova para o ensaio de flexão.



Fonte: ASTM D790-90

O ensaio de flexão três pontos, da mesma forma do ensaio de tração, uma força constante é aplicada pela máquina no corpo de prova, a uma velocidade constante,

porém perpendicular. A partir dos resultados fornecidos pelo próprio equipamento e utilizando as equações 4, podemos achar o gráfico tensão deformação (GAMA,2017).

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times EA}{2 \times L \times E^2} \quad (4)$$

Onde:

σ_f = Tensão de flexão, [MPa]

P = Carga aplicada, [N]

L = Largura do corpo de prova, [mm]

EA = Distância entre os suportes, [mm]

E = Espessura do corpo de prova[mm],

E então dentro do regime elástico, e utilizando tensão e a deformação correspondente e utilizando a equação 5 pode-se obter o modulo de elasticidade na flexão (E), recomendada pela a norma.

$$E = \frac{m \times EA^3}{4 \times L \times E^3} \quad (5)$$

Onde:

m= Inclinação da reta tangente ao gráfico do carregamento (N) pela deformação (mm).

5.5 SECAGEM E ELABORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TAXA DE UMIDADE.

Para secagem da madeira dos ensaios de tração, flexão e elaboração dos corpos de prova de teor de umidade foi utilizado a norma ABNT NBR 7190/1997. Onde diz que a temperatura que será utilizada é de 103°C (com uma variação $\pm 2^\circ\text{C}$), os corpos de prova terão os seguintes tamanhos mostrados na Figura 18 e o número mínimo de corpos de prova para um ensaio de caracterização simplificada deve ser de 6 corpos de prova.

Figura 18- Dimensões do corpo de prova de ensaio de umidade.



Fonte: ABNT NBR 7190/1997.

As diretrizes da norma ABNT NBR 7190/1997, também cita que para a elaboração dos corpos de prova devem ser utilizadas lâminas afiadas, para evitar um alto atrito de modo que não provoque a chamada “queima” da fibra e consequentemente uma perda instantânea de água e a desnaturação da fibra. Em seguida foram todos colocados na estufa como mostrado a Figura19, ainda segundo a norma, a variação entre duas medidas consecutivas tem que ser menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Por fim, esta massa será considerada como a massa seca (M_s) e em seguida retirada volume seco (V_s).

Figura 19- Corpos de prova de ensaio de tração, flexão e umidade na estufa.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

O teor de umidade da madeira será calculado pela relação entre corpo de prova antes do procedimento, com massa de água contida e após a finalização do processo com a madeira seca em porcentagem, como mostrado na equação 6.

$$U\% = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

M_i= massa inicial da madeira, [g];

M_s= massa da madeira seca, [g].

Em seguida os corpos de prova foram testados imersos em água como mostrado a Figura 20, utilizando a mesma norma de ensaio de umidade, segundo a norma, que variação entre duas medidas consecutivas, seja menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Por fim, está massa será considerada como a massa saturada (M_{sat}) e em seguida retirada volume saturado (V_{sat}).

Figura 20-Corpos de prova imersos em água para ensaio de absorção.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

É através das variações volumétrica entre os corpos de prova seco e saturado que podemos determina as propriedades de retração e inchamento e determinação

do grau de estabilidade dimensional da madeira, sendo representada matematicamente através da equação 7.

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{seca}} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

V_{sat}= Volume satura em água, [cm³];

V_{seca}= Volume da madeira seca, [cm³].

Também encontramos a densidade aparente (ρ_{ap}), que seria uma massa específica convencional, determinada pela razão entre massa do corpo de prova sem nenhum processo de secagem ou absorção, pelo volume sem nenhum processo de secagem ou absorção, como mostrado na Equação 8. Na literatura essas duas incógnitas são chamadas por M₁₂ e V₁₂, por considerar que após retirada do material da natureza a madeira perde umidade naturalmente até chegar por volta de 12%.

$$\rho_{ap} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (8)$$

Onde:

V₁₂= Volume estável no meio, [cm³];

M₁₂= massa da madeira estável no meio, [g].

Por fim, encontramos pelo ensaio de umidade a densidade básica (ρ_{bas}), que seria a massa específica máxima, que é definida pela razão entre a massa seca (M_s) pelo volume saturado (V_{sat}), como mostrado na Equação 9.

$$\rho_{bas} = \frac{M_s}{V_{sat}} \quad (9)$$

Onde:

V_{sat}= Volume satura em água, [cm³];

M_s= massa da madeira seca, [g].

5.6 ENSAIO DE TRAÇÃO E FLEXÃO

Para o ensaio de tração foi utilizada uma máquina da EMIC modelo DL-10000, como mostrado na Figura 21, tendo uma célula de carga máxima de 100kN.

Figura 21- Garra da máquina preparada para ensaio de tração.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Já para o ensaio de flexão foi utilizada a mesma máquina da EMIC modelo DL-10000, como mostrado na Figura 22, porém com a célula de carga para flexão em três pontos de 100kN.

Figura 22 -Garra da máquina preparada para ensaio de flexão.



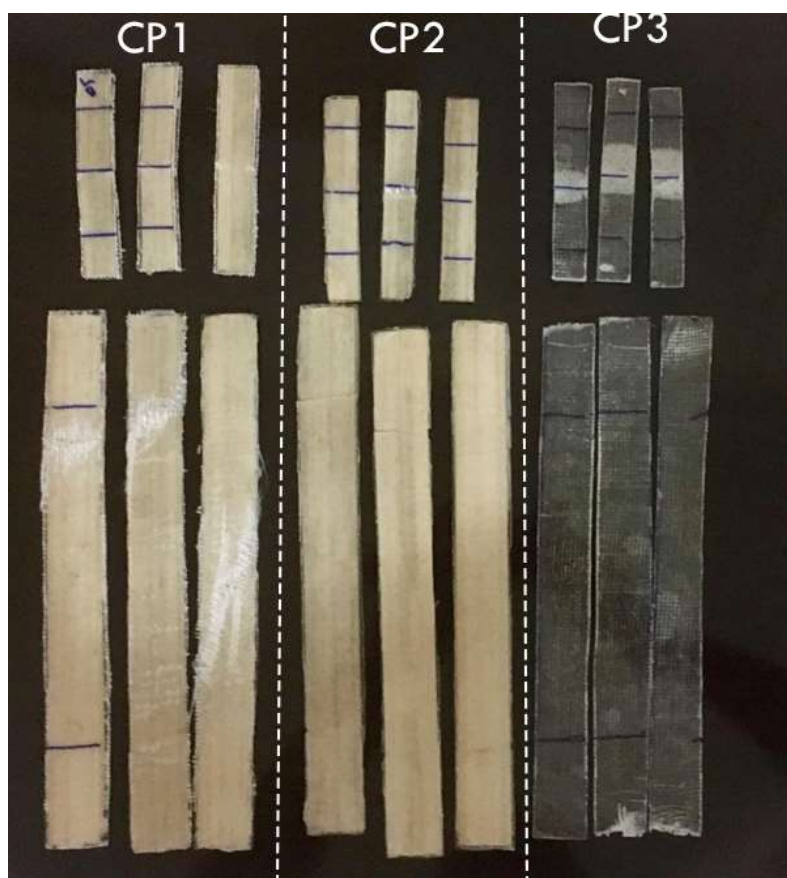
Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 SECAGEM E ABSORÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados experimentais obtidos a partir da caracterização da fibra de buriti. Em seguida os resultados serão discutidos de acordo com os métodos utilizados nos ensaios. Depois do processo de extração, descasque e corte da tala de buriti, foram realizadas análises das propriedades de densidade e expansão volumétrica. As confecções dos corpos de prova seguiram de acordo com as normas ABNT NBR 7190 (secagem e absorção de água), ASTM D790 (ensaio de flexão) e ASTM D3039 (ensaio de tração), foram confeccionados 3 (três) tipos de CPs com diferentes arranjos, em seguida realizou-se ensaios mecânicos de tração e flexão e obteve as seguintes amostras mostradas na figura 23.

Figura 23- CPs após os ensaios de tração e flexão



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Como podemos observa na Figura 23 os danos a fibra de vidro no ensaio de tração foram muito mais aparentes nos CP1, já para o ensaio de flexão os danos a fibra de vidro ficaram muito mais aparentes no CP3.

Através do Apêndice A podemos retirar as Tabelas 5, onde pode-se observar primeiramente a densidade aparente (ρ_{ap}), que foi aproximadamente 62,54 Kg/m³, variando para no máximo 67,10 Kg/m³ e para no mínimo 57,09 Kg/m³.

Tabela 5- Media da densidade aparente.

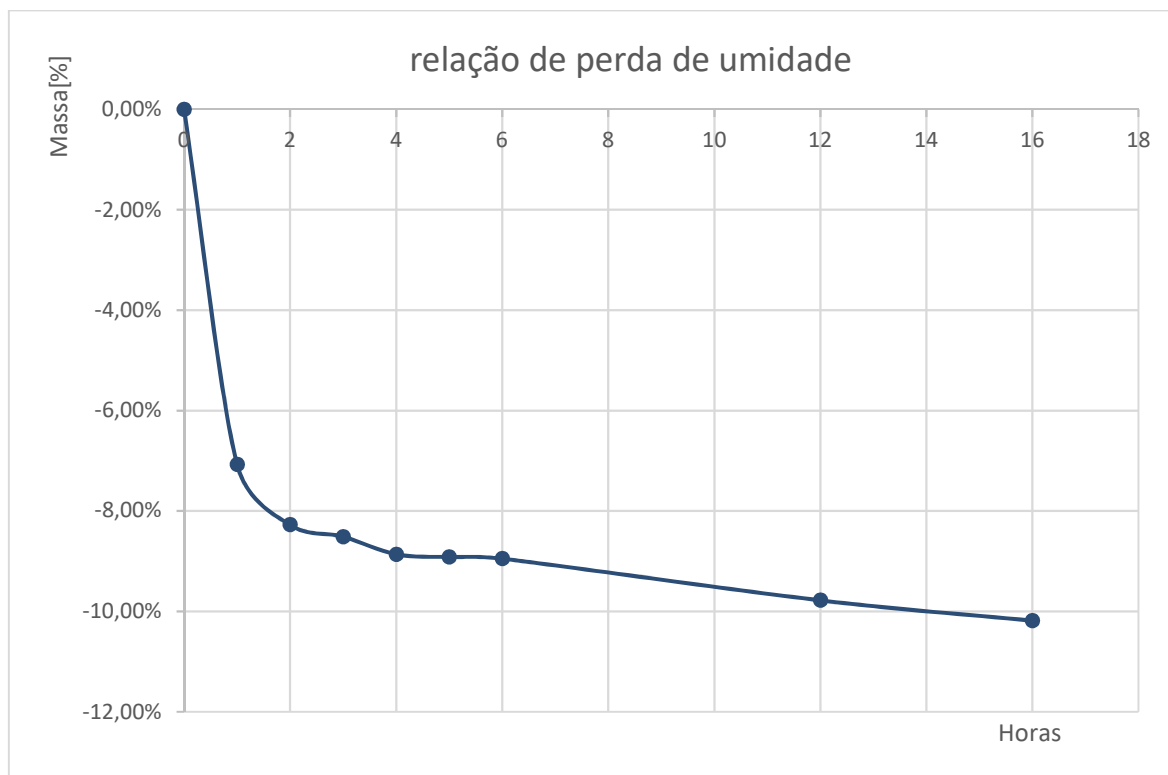
Densidade media aparente (ρ_{ap}) =	62,53794174 kg/m ³
Densidade máxima =	67,10290763 kg/m ³
Densidade mínima =	57,0938029 kg/m ³
Desvio padrão=	4,280350976

Fonte: (autoria própria ,2019)

Através de uma média dos valores Apêndice B obtivemos o gráfico 1. Onde pode-se observar o decaimento da massa dos corpos de prova ao longo do tempo, este processo durou por volta de 16 horas para ser concluído e mostrou que os corpos de prova têm por volta de 10,18% de água, esse decaimento é mais destacado pelo ,onde na primeira hora houve uma grande perda de massa, mas com pouco tempo se estabilizou, descrevendo assim uma função logarítmica.

Os valores encontrados por sua vez foram considerados baixos, pois segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a temperatura na região de Mossoró-RN no horário do estudo foi de 29°C e a umidade se encontrava em 80%, então como mostrado no Anexo A, a humidade da madeira deveria se encontrar entre 15,4 e 15,7.

Gráfico 1- Gráfico da perda de massa em porcentagem pelo processo de secagem versus tempo.

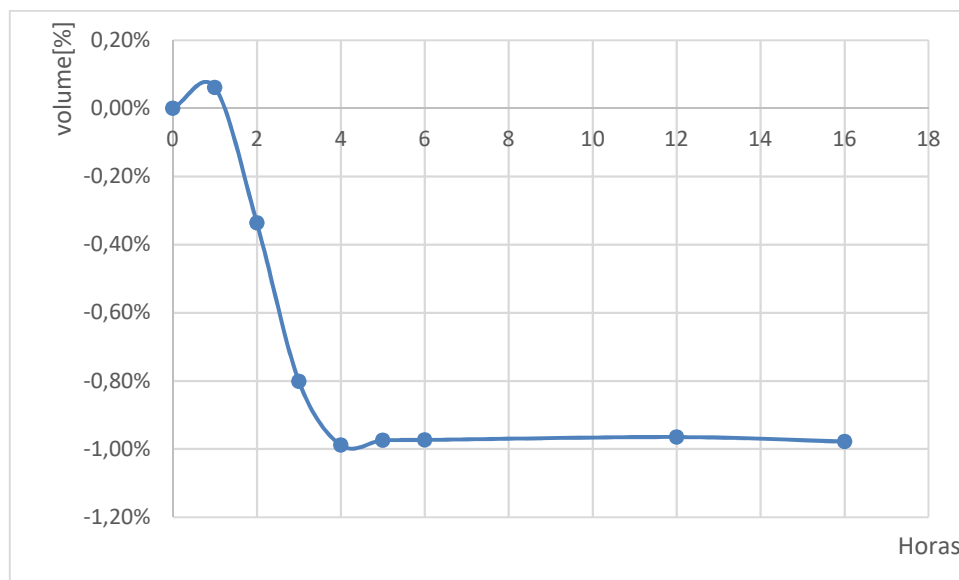


Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Através de uma média dos valores Apêndice C obtivemos o gráfico 2. Onde podemos observar que a perda volumétrica foi mínima, podendo ser desconsiderada, isso pois sua umidade não é grande suficiente para provocar variação significativa, já que a perda de humidade tem relação direta com a perda volumétrica.

Observando-se a mesma representação da massa, porém com um leve ganho volumétrico na primeira hora. Não se sabe exatamente o que foi podendo ser erro do equipamento de medição.

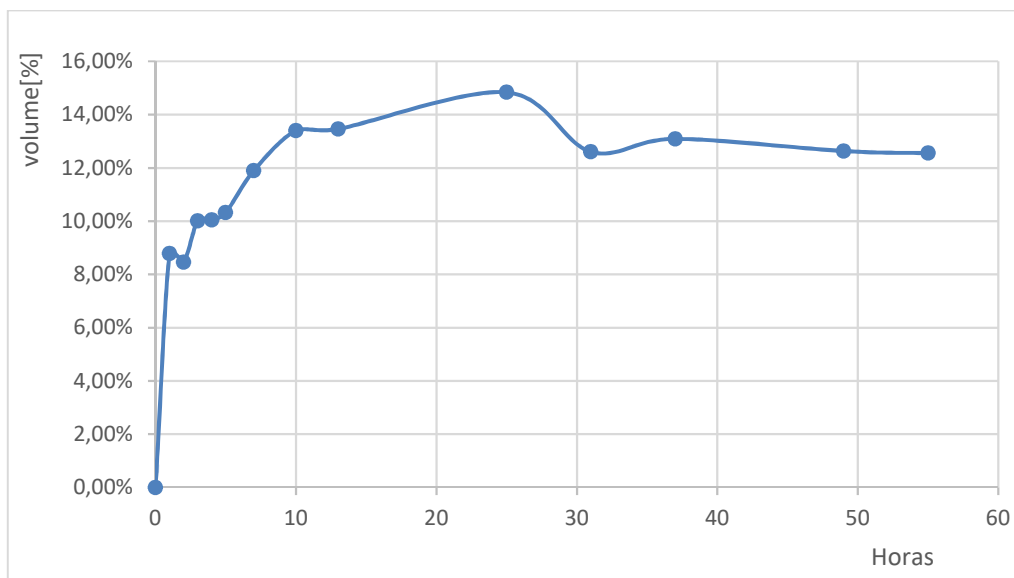
Gráfico 2- Gráfico da perda volumétrica em porcentagem pelo processo de secagem versus tempo.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Através da caracterização de crescimento volumétrico pelo ensaio de absorção de água, um processo que durou 55 horas, foi observado que o salto inicial foi de 8,79% na primeira hora, porém este ganho caiu um pouco na segunda hora para 8,46%, mas em seguida manteve sua trajetória e após 25 horas do início do experimento houve um decaimento volumétrico provavelmente provocado pelo o processo de degradação, como podemos observar no Gráfico 3.

Gráfico 3- Gráfico do ganho volumétrico em porcentagem pelo processo de absorção de água pelo tempo.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Mesmo assim, o corpo de prova chegou a ter em média 14,84% de expansão volumétrica em alguns casos até 18,2%, como podemos observar na tabela em Apêndice D.

Apesar desses números serem consideráveis, eles são relativamente baixos, tendo invista que como podemos atentar na Tabela 6, o crescimento longitudinal foi de no máximo 1,9% e em alguns casos não chegou a variar. Já a variação tangencial e radial cresceu no máximo 9,01% e 8,22% respectivamente.

Tabela 6- Variação volumétrica do CP seco para o CP saturado.

corpo 1					corpo 4				
	seco	Saturado				seco	Saturado		
Radial	1,94	2,06	6,19%	cm	Radial	1,98	2,14	8,08%	cm
tangencial	3,07	3,3	7,49%	cm	tangencial	3,125	3,34	6,88%	cm
longitudinal	5,11	5,178	1,33%	cm	longitudinal	5,27	5,37	1,90%	cm
ΔV	30,43	35,20	15,66%		ΔV	32,61	38,38	17,71%	

corpo 2					corpo 5				
	seco	Saturado				seco	Saturado		
Radial	2,14	2,232	4,30%	cm	Radial	2,25	2,354	4,62%	cm
tangencial	3,04	3,29	8,22%	cm	tangencial	3,14	3,30	5,10%	cm
longitudinal	5,07	5,108	0,75%	cm	longitudinal	5,03	5,04	0,34%	cm
ΔV	32,98	37,51	13,72%		ΔV	35,50	39,17	10,33%	

corpo 3					corpo 6				
	seco	Saturado				seco	Saturado		

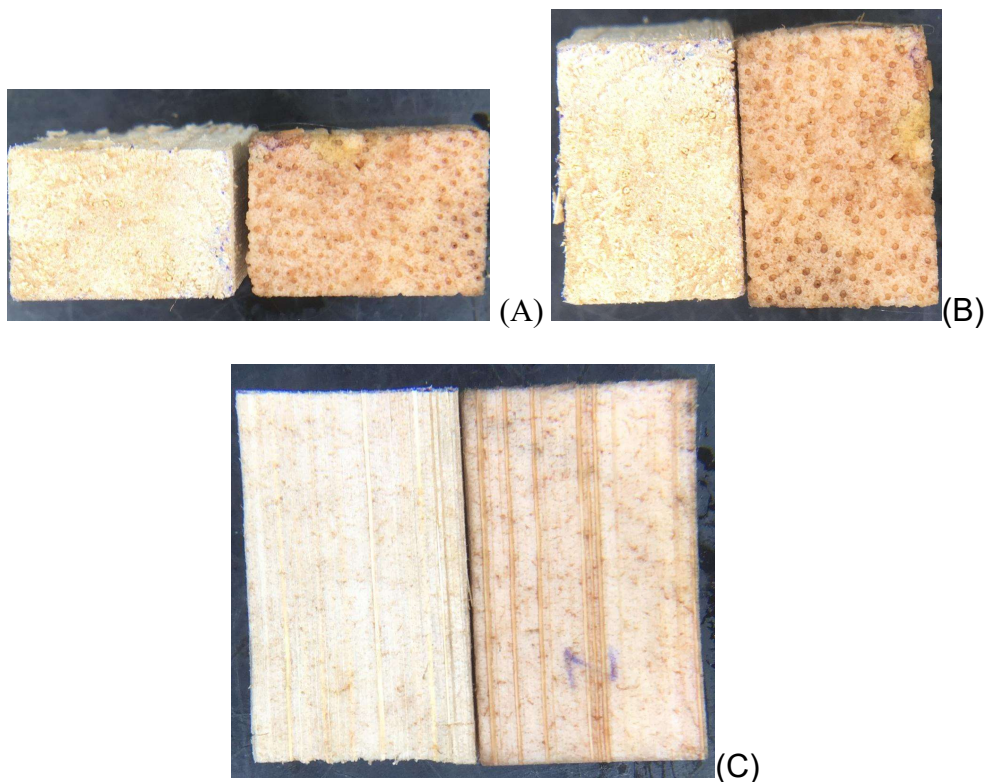
	seco	Saturado	
Radial	2,19	2,34	6,85% cm
tangencial	3,11	3,27	5,14% cm
longitudinal	5,19	5,21	0,39% cm
ΔV	35,35	39,87	12,78%

	seco	Saturado	
Radial	1,965	2,142	9,01% cm
tangencial	3,17	3,43	8,20% cm
longitudinal	4,92	4,92	0,00% cm
ΔV	30,65	36,15	17,95%

Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Sendo assim essas variações do crescimento dimensional são explicados por Glass, S.V.; Zelinka, A.L. ,(2010), onde diz que o crescimento é maior nos sentidos radial e tangencial da fibra sendo ainda, segundo a literatura, 15% no sentido radial e cerca de 7% no sentido longitudinal , porém como visualizado na Tabela 6, essas variações foram menores do que o previsto, pois as fibras circulares são pequenas e aleatoriamente distribuídas, outro motivo seria a absorção do crescimento dimensional pelo própria corpo de prova tendo em vista que material é levemente macio, sendo assim a variação teve um crescimento quase imperceptível a olho nu, como podemos ver na Figura 24.

Figura 24-Corpo de provas antes e depois do ensaio de absorção de água.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

A Figura 24 mostra o grau de variação depois de 25 horas do processo de absorção d'água (corpo de prova da direita) comparado com o de secagem (corpo de prova da esquerda), sendo (A) a altura, (B) a largura e (C) a profundidade.

Através dos dados adquiridos pelo processo de variação volumétrica de absorção da água e do processo de variação de massa na secagem, Tabela 7, podemos calcular uma densidade absoluta de aproximadamente 48,90 Kg/m³.

Tabela 7- Densidade absoluta($\rho_{(abs)}$) do buriti

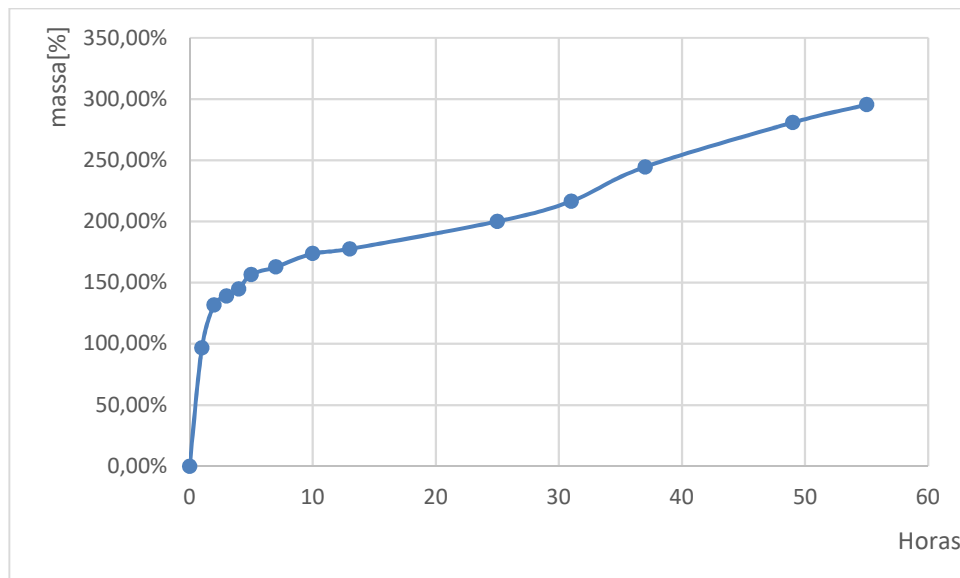
corpo 1		corpo 4	
$\rho(abs)= 49,77267 \text{ kg/m}^3$		$\rho(abs)= 51,1169 \text{ kg/m}^3$	
corpo 2		corpo 5	
$\rho(abs)= 45,0553 \text{ kg/m}^3$		$\rho(abs)= 47,74395 \text{ kg/m}^3$	
corpo 3		corpo 6	
$\rho(abs)= 49,0394 \text{ kg/m}^3$		$\rho(abs)= 50,62586 \text{ kg/m}^3$	
media = 48,89235 kg/m^3			
$\sigma= 2,032738$			

Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Com relação as características do ganho de massa no estudo de absorção de água, foi observado uma variação proporcional ao seu volume, como podemos ver no Gráfico 4, tendo um ganho de massa no primeiro momento extremamente alto, chegando a mais de 130 % da sua própria massa. Porém este ganho diminui um pouco a partir da segunda hora.

No entanto, ao contrário do ocorrido na variação volumétrica de absorção de água, após 25 horas o processo se reverteu, sendo o volume inversamente proporcional ao ganho de massa, isso é acarretado pela degradação natural do corpo de prova, chegando essa massa de água a passar de 300%, como podemos ver no Apêndice D.

Gráfico 4- Gráfico do ganho de massa em porcentagem pelo processo de absorção de água pelo tempo.

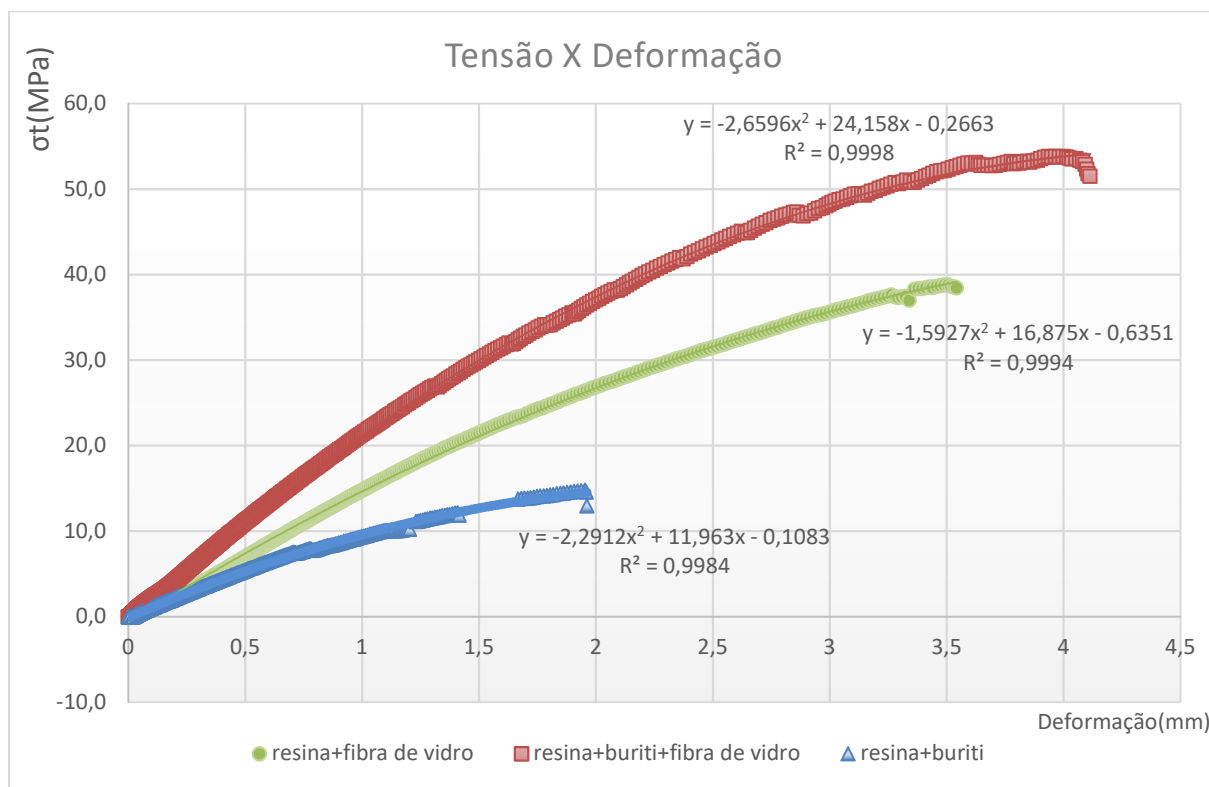


Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

6.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os ensaios por sua vez obtiveram resultando além do esperado, como podemos ver no Gráfico 5, os valores tanto de tensão quanto os da deformação foram superiores as de referência, que seria apenas de resina com fibra de vidro (CP3).

Gráfico 5 -Comparativo do CP Tensão X Deformação para tração.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

No caso dos compósitos formados com fibra de vidro e resina (CP3) e os de fibra de vidro e resina e buriti foi analisado uma elevada taxa de desvio padrão, como mostrado na Tabela 8, isso se dá segunda a Gama (2007), devido o início da ruptura das fibras de vidro provocando uma ação em cadeia de quebra da fibra de vidro, com isso dificultando a observação de um padrão em relação a tensão máxima de flexão.

Tabela 8- Força e deslocamento máximos de tração.

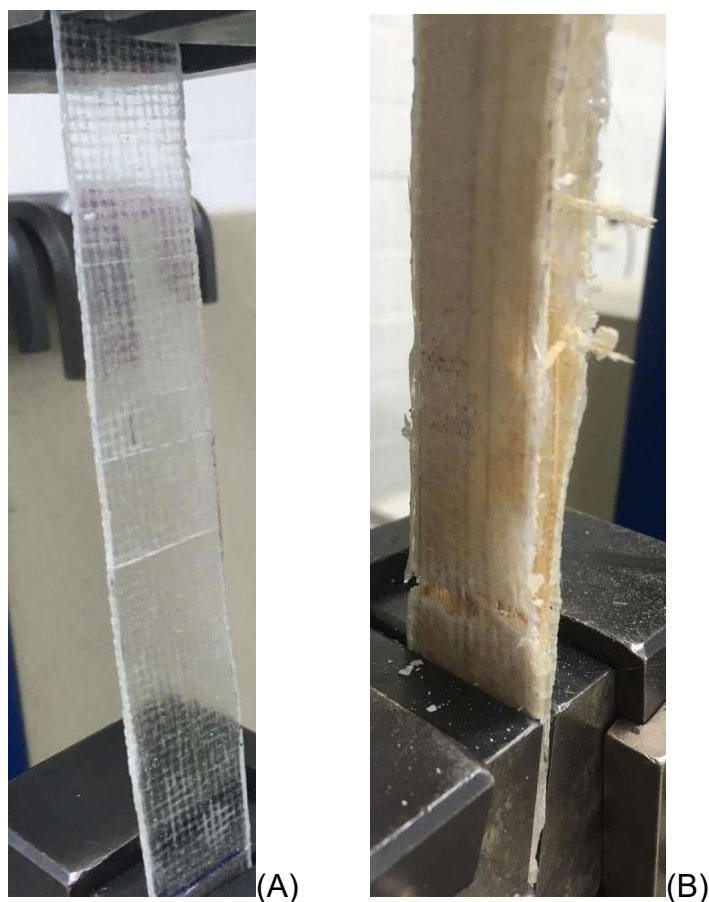
amostra/atributos	CP1	CP2	CP3
força máxima (N)	3366,63	924,03	2425,89
desvio padrão máximo da força	321,71	131,84	245,85
Tensão máxima (MPa)	53,87	14,78	38,81
deformação máximo (mm)	4,11	1,96	3,54
módulo de elasticidade (Gpa)	2,15	1,21	1,77

Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Porém este padrão em cadeia citado por Gama (2017) é muito mais representativo no CP1, compósito formado com buriti e fibra de vidro, onde a fibra es estilhaça completamente e pôr fim rompe expulsando até seu material de núcleo de

buriti. Do que no caso do CP3, onde só tem pequenas rachaduras na fibra, como podemos observa na Figura 25.

Figura 25-Momento de ruptura dos CP1 e CP3 no ensaio de tração



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

A Figura 25 mostra a diferença da ruptura dos compósitos apenas com fibra de vidro e resina (A) do compósito com fibra de vidro, resina e buriti (B).

Contudo os ensaios de tração foram muito difíceis de serem realizados, pois o material de núcleo muito macio não suportava uma pressão muito alta da garra de fixação do equipamento de ensaio, assim se apertasse pouco a lixa escorregava sobre o corpo de prova e se apertasse muito estrangulava o compósito, como mostrado na Figura 26.

Figura 26- Corpos de prova falhados por esmagamento ou escorregamento.

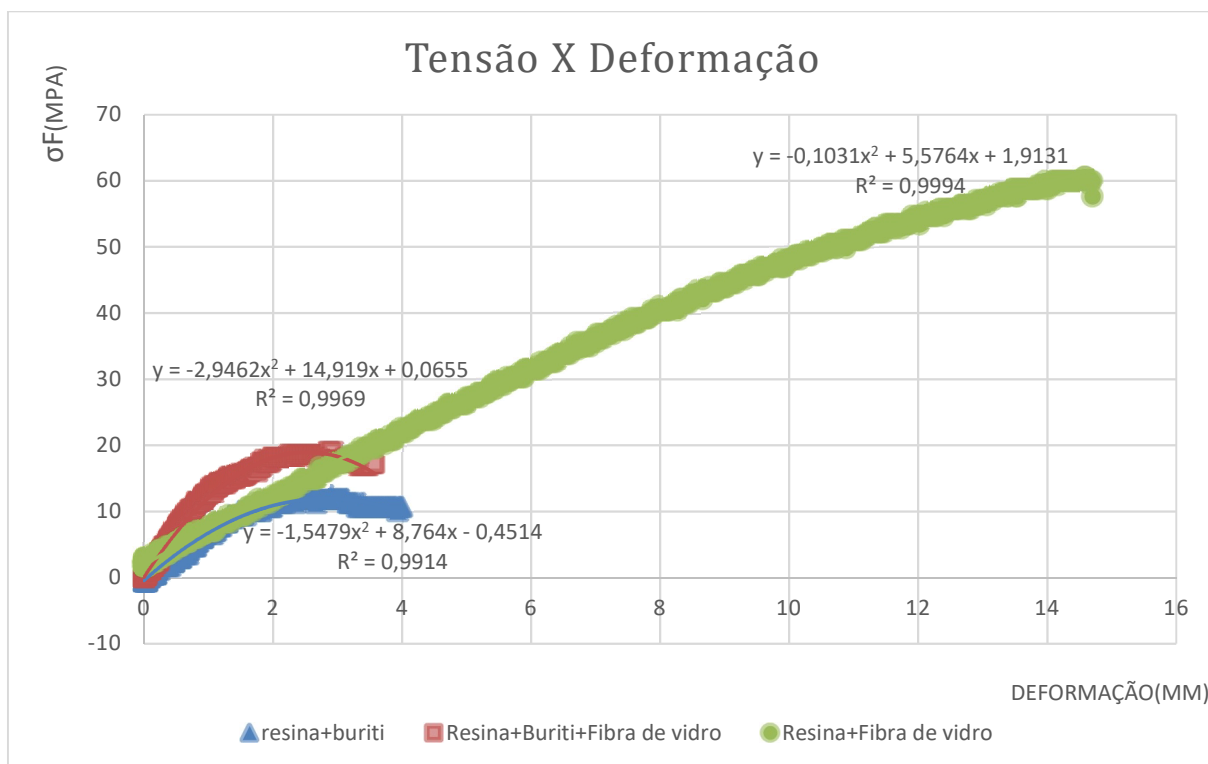


Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

6.3 ENSAIO DE FLEXÃO

Os ensaios de flexão realizados pela norma ASTM D790-90, foram ensaiados com uma velocidade de 2mm/minuto. Estes ensaios por sua vez obtiveram resultados pouco satisfatórios, alcançando valores máximos de 38,60N com o CP02, 54,68 N com o CP1 e 162 N com o CP3, como mostrado no Gráfico 6.

Gráfico 6- Comparativo do CP Tensão X Deformação para flexão.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Como podemos ver na Tabela 9, os compósitos formados somente por resina e fibra de vidro (CP3) obtiveram melhores resultados em sua taxa de deslocamento antes da sua ruptura, no caso da flexão devemos observar a importância da rigidez do compósito.

No caso dos compósitos formados com fibra de vidro e resina (CP3) foi analisado uma elevada taxa de desvio padrão, isso se dá pois da mesma forma dos ensaios de tração e segunda a Gama (2007), o início da ruptura das fibras de vidro provoca uma ação em cadeia de quebra da fibra de vidro, com isso dificultando a observação de um padrão em relação a tensão máxima de flexão.

Tabela 9- Força e deslocamento máximos de flexão

amostra/atributos	CP1	CP2	CP3
força máxima (N)	54,68	38,60	164,035
desvio padrão máximo da força	7,43	9,10	22,75
Tensão máxima (MPa)	20,19	12,47	60,57
deslocamento máximo (mm)	2,95	3,41	14,71
módulo de elasticidade (Gpa)	2,15	1,44	1,1

Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Sendo assim, foi observado que a ruptura dos corpos de prova sucedeu em duas etapas, a primeira o compósito inteiro começou a flexionar sem danificação no material de núcleo, como podemos ver na Figura 27.

Figura 27- Primeira etapa da flexão do compósito CP1.



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

Na segunda etapa, a camada superior que está em contato com o cutelo se rompe descaracterizando a flexão e o seu interior é exposto provocando esmagamento e Flambagem, como podemos observar na Figura 28. Mostrando assim a fragilidade do compósito para a flexão, porém como podemos observar o módulo de elasticidade ficaram muito próximos tanto na tração quanto na flexão tornando o estudo viável na primeira parte da curva Tensão X Deformação para flexão.

Figura 28- Segunda etapa da flexão do compósito CP1 (esmagamento).



Fonte: AUTORIA PROPRIA, (2019)

7. CONCLUSÕES

As análises de comportamento da deformação por absorção e secagem de água, mostraram excelentes resultados, tendo uma variação muito baixa comparada com a média padrão, além disso o buriti mostrou um ótimo substituto biodegradável, tendo em vista que seu processo de deterioração iniciou com apenas 25 horas depois do início do processo de absorção de água.

Ao avaliar também as propriedades de densidade do buriti, a fibra natural mostrou-se de extrema competitividade, haja vista que outras madeiras importadas e tem a finalidade de serem leves tem sua massa 350% maior do que esta alternativa que ainda por cima é nacional e infinitamente mais barata.

Os compósitos sanduiches também obtiveram ótimos resultados no ensaio de tração sendo uma alternativa para o mercado tendo em vista lhe dará ao compósito maior resistência e uma massa relativamente menor.

Já para os testes de flexão os compósitos não obtiveram bons resultados, tendo em vista que os compósitos iniciaram o processo de esmagamento e Flambagem antes do rompimento da parte inferior.

Mesmo com o esmagamento dos corpos de prova de flexão se observou que o módulo de elasticidade para tração e flexão foram próximos, mostrando que o início da curva representou a flexão do corpo de prova, além dos valores superiores para o CP1 comparado com CP3 (referência).

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) **ASTM D790**. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. USA, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) **D3039/D3039M**. Standard Test Methods: Flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. USA, 2000.

AMORIM CORK COMPOSITES. **Sistema Alucork®**. 2018. Disponível em: <<https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplicacoes/paineis-e-compositos/alucork/>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107 p.

BAPTÍSTA, André Luís de Brito. **Desenvolvimento De Um Briquete Auto-Fundente, Multiconstituído De Rejeitos, Resíduos E Descartes Recicláveis Gerados Na Planta Integrada De Produção De Aço, Aplicado Como Componente Da Carga De Fornos De Redução De Ferro**. 2016. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Centro Universitário de Volta Redonda Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2016.

BARBOSA, Anderson de Paula. **CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE BURITI**. 2011. 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011.

BELINGARDI, G.; CAVATORTA, M. P.; SALVATORE PAOLINO, D. Repeated impact response of hand lay-up and vacuum infusion thick glass reinforced laminates. **international journal of impact Engineering**, v. 35, n.7, p. 609-619, 2008.

CALLISTER, W.D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução** [s.l.] John wiley e sons, inc, 2002.

CAMPBELL, F. C. **Manufacturing technology for Aerospace structural Materials**. 1 eddition ed. Great Britain. Elsevier science, 2006.

COSTA, Francisco Moreira da; TEIXEIRA, Raquel Dias. **Buriti no artesanato é vereda no cerrado**. Disponível em:

<<http://www.artesol.org.br/conteudos/visualizar/Buriti-no-artesanato-e-vereda-no-cerrado>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

GAGLIARDO, Debora Pierini; MASCIA, Nilson Tadeu. **Análise de estruturas sanduíche**: parâmetros de projeto. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2010, Campinas. Porto Alegre: Ambiente Construído, 2010. v. 10, p. 247 - 258.

GAMA, Daniel Pereira Nunes. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE TENSÃO E FLEXÃO DE COMPÓSITOS SANDUÍCHE**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.
Glass, S.V.; Zelinka, A.L Forest Products Laboratory. 2010. **Wood handbook:Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.

KWAI N.T. **Estudo das propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados por fibra de carbono e manufaturados pelos processos de laminação manual, infusão de resina e pre-impregnado**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciencia e Engenharia de Materiais, Universidade de Sao Paulo, Sao, 2016.

LIMA, Sara Nepomuceno Patriota. **CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DE BURITI E SUA APLICABILIDADE COMO ADSORVENTE DE METAIS E CORANTES**. 2017.

96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2017.

LOGSDON, Norman Barros. **INFLUÊNCIA DA UMIDADE NAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DA MADEIRA**. 1998. 200 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

MORESCHI, João Carlos. **Propriedades Da Madeira**. 4. ed. Curitiba: Ministério da Educação e do Desporto, 2014.

PINHEIRO, Manuel Filipe de Carvalho Alves. **Compósitos Avançados Reforçados**

Com Fibras Naturais Para Construção. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Portugal, 2008.

PINTO, Kelly Nanci Carneiro. **Reciclagem De Resíduos De Materiais Compósitos De Matriz Polimérica: Poliéster Insaturado Reforçado Com Fibras De Vidro**. 2002.

81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2002.

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

SANTO, Lara Monalisa Alves dos. **Madeiras**. Brasília: Universidade de Brasília, 2018. 35 p. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_madeiras_lara_monalisa.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2019.

SILVA, Franciélito Gomes da. **Estudo Da Concentração De Tensão Dos Laminados Compósitos Sanduíches De Resina Epóxi Com Fibras De Vidro E**

Núcleo De Honeycomb Carregados À Flexão. 2017. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

TITA, V. **Projeto e Fabricação de Estruturas em Material Compósito Polimérico.** Notas de aula. Universidade de São Paulo, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2007. 68 p.

VIANA, Luara Ribeiro. **Caracterização Mecânica, Perfil De Absorção De Água De Compósitos Reforçados Com Fibras Da Inflorescência De Macambira (Bromélia Laciniosa).** 2017. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Rural do Semi-árido, Angicos, 2017.

ZENID, G.J.; CECCANTINI, G.C.T. **Identificação Macroscópica De Madeiras.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2007. Disponível em: <http://www.centralflorestal.com.br/2017/04/identificacao-e-caracterizacao-da_5.html>. Acesso em: 17 jan. 2018

APÊNDICE A- Tabela de perda de massa pelo processo de secagem.

	corpo 1		media	
Radial	1,95	1,93	1,94	cm
tangencial	3,07	3,07	3,07	cm
longitudinal	5,14	5,07	5,11	cm
massa	1,9492	1,9480	1,9486	g
	volume=		30,40	cm ³
	densidade=		64,0895	kg/m ³

	corpo 2		media	
Radial	2,16	2,12	2,14	cm
tangencial	3,07	3,00	3,04	cm
longitudinal	5,05	5,09	5,07	cm
massa	1,8805	1,8796	1,8801	g
	volume=		32,93	cm ³
	densidade=		57,0938	kg/m ³

	corpo 3		media	
Radial	2,16	2,22	2,19	cm
tangencial	3,12	3,10	3,11	cm
longitudinal	5,21	5,16	5,19	cm
massa	2,1722	2,1718	2,1720	g
	volume=		35,31	cm ³
	densidade=		61,5045	kg/m ³

	corpo 4		media	
Radial	1,99	1,97	1,98	cm
tangencial	3,15	3,10	3,125	cm
longitudinal	5,23	5,31	5,27	cm
massa	2,1886	2,1876	2,1881	g
	volume=		32,61	cm ³
	densidade=		67,1029	kg/m ³

	corpo 5		media	
Radial	2,23	2,27	2,25	cm
tangencial	3,10	3,18	3,14	cm
longitudinal	5,08	4,97	5,025	cm
massa	2,0735	2,0719	2,0727	g
	volume=		35,50	cm ³
	densidade=		58,3832	kg/m ³

	corpo 6		media	
Radial	1,97	1,96	1,965	cm
tangencial	3,20	3,13	3,17	cm
longitudinal	4,93	4,91	4,92	cm
massa	2,0523	2,0512	2,0518	g
	volume=		30,60	cm ³
	densidade=		67,0537	kg/m ³

APÊNDICE B- Tabela de perda de massa pelo processo de secagem.

Corpos	Horas								
	0	1	2	3	4	5	6	12	16
1	1,9486	1,8133	1,7862	1,7798	1,7748	1,7725	1,7710	1,7605	1,752
	0,00%	6,94%	8,33%	8,66%	8,92%	9,04%	9,11%	9,65%	10,09%
2	1,88005	1,7441	1,7215	1,7200	1,7130	1,7133	1,7145	1,6980	1,6900
	0,00%	7,23%	8,43%	8,51%	8,89%	8,87%	8,81%	9,68%	10,11%
3	2,172	2,0186	1,9927	1,9880	1,9810	1,9793	1,9785	1,96	1,955
	0,00%	7,06%	8,26%	8,47%	8,79%	8,87%	8,91%	9,76%	9,99%
4	2,1881	2,0360	2,0080	2,0010	1,9920	1,9905	1,9890	1,9700	1,9620
	0,00%	6,95%	8,23%	8,55%	8,96%	9,03%	9,10%	9,97%	10,33%
5	2,0727	1,9216	1,9022	1,8980	1,8904	1,8904	1,8902	1,88	1,87
	0,00%	7,29%	8,23%	8,43%	8,80%	8,80%	8,80%	9,30%	9,78%
6	2,05175	1,9087	1,8842	1,8784	1,8708	1,869	1,8678	1,84	1,83
	0,00%	6,97%	8,17%	8,45%	8,82%	8,91%	8,97%	10,32%	10,81%
media	0,00%	7,08%	8,27%	8,51%	8,86%	8,92%	8,95%	9,78%	10,18%
	0,00%	0,14%	0,09%	0,08%	0,06%	0,09%	0,12%	0,31%	0,32%

APÊNDICE C- Tabela de perda volumétrica pelo processo de secagem.

Corpos	Horas								
	0	1	2	3	4	5	6	12	16
1	30,4	29,90	30,53	30,21	30,28	30,02	30,11	30,22	30,06
	0,00%	-1,64%	0,43%	-0,62%	-0,39%	-1,25%	-0,95%	-0,59%	-1,12%
2	32,93	33,03	32,92	32,80	32,40	32,38	32,17	32,42	32,71
	0,00%	0,30%	-0,03%	-0,39%	-1,61%	-1,67%	-2,31%	-1,55%	-0,67%
3	35,31	35,81	36,38	35,30	35,66	35,27	35,07	35,12	35,06
	0,00%	1,42%	3,03%	-0,03%	0,99%	-0,11%	-0,68%	-0,54%	-0,71%
4	32,61	32,20	31,49	32,12	32,42	32,66	32,52	32,33	32,11
	0,00%	-1,26%	-3,43%	-1,50%	-0,58%	0,15%	-0,28%	-0,86%	-1,53%
5	35,5	35,62	34,60	34,92	34,39	34,90	35,11	35,13	35,23
	0,00%	0,34%	-2,54%	-1,63%	-3,13%	-1,69%	-1,10%	-1,04%	-0,76%
6	30,6	30,97	30,76	30,41	30,23	30,21	30,44	30,23	30,27
	0,00%	1,21%	0,52%	-0,62%	-1,21%	-1,27%	-0,52%	-1,21%	-1,08%
media	0,00%	0,06%	-0,34%	-0,80%	-0,99%	-0,97%	-0,97%	-0,96%	-0,98%
	0,00%	1,15%	2,13%	0,58%	1,25%	0,73%	0,65%	0,35%	0,30%

APÊNDICE D- Tabela de ganho de massa pelo processo de absorção.

corpos	0	1	2	3	4	5	7	10	13	25	31	37	49	55
1	1,92	3,65	3,97	4,09	4,12	4,40	4,61	4,97	4,74	5,23	5,33	5,86	6,62	6,87
	0,00%	90,10%	106,77%	113,02%	114,58%	129,17%	140,10%	158,85%	146,88%	172,40%	177,60%	205,21%	244,79%	257,81%
2	1,85	4,71	5,14	5,12	5,13	5,41	5,46	5,57	5,71	6,00	6,33	6,74	7,29	7,35
	0,00%	154,59%	177,84%	176,76%	177,30%	192,43%	195,14%	201,08%	208,65%	224,32%	242,16%	264,32%	294,05%	297,30%
3	2,14	3,00	5,27	5,43	5,69	5,78	5,89	6,00	6,05	6,41	7,00	7,38	8,10	8,30
	0,00%	40,19%	146,26%	153,74%	165,89%	170,09%	175,23%	180,37%	182,71%	199,53%	227,10%	244,86%	278,50%	287,85%
4	2,15	3,61	4,07	4,27	4,39	4,71	5,00	5,38	5,60	6,34	6,72	7,42	8,28	8,72
	0,00%	67,91%	89,30%	98,60%	104,19%	119,07%	132,56%	150,23%	160,47%	194,88%	212,56%	245,12%	285,12%	305,58%
5	2,04	4,76	5,06	5,24	5,31	5,54	5,60	5,82	5,97	6,18	6,52	7,20	7,80	8,12
	0,00%	133,33%	148,04%	156,86%	160,29%	171,57%	174,51%	185,29%	192,65%	202,94%	219,61%	252,94%	282,35%	298,04%
6	2,02	3,93	4,50	4,76	4,98	5,20	5,23	5,39	5,53	6,18	6,46	7,17	8,08	8,60
	0,00%	94,55%	122,77%	135,64%	146,53%	157,43%	158,91%	166,83%	173,76%	205,94%	219,80%	254,95%	300,00%	325,74%
media	0,00%	96,78%	131,83%	139,10%	144,80%	156,63%	162,74%	173,78%	177,52%	200,00%	216,47%	244,57%	280,80%	295,39%
	0,00%	38,22%	29,17%	26,71%	26,79%	25,34%	21,53%	17,06%	20,28%	15,41%	19,66%	18,79%	17,64%	20,43%

APÊNDICE E- Tabela de ganho volumétrico pelo processo de absorção.

corpos	horas													
	0	1	2	3	4	5	7	10	13	25	31	37	49	55
1	30,4	32,14	33,21	32,47	33,06	33,74	34,17	34,65	35,33	35,20	34,81	34,99	34,29	35,15
	0,00%	5,72%	9,24%	6,81%	8,75%	10,99%	12,40%	13,98%	16,22%	15,79%	14,51%	15,10%	12,80%	15,63%
2	32,93	36,56	36,32	36,69	35,62	35,93	36,30	36,65	36,66	37,51	36,02	37,77	37,56	36,42
	0,00%	11,02%	10,29%	11,42%	8,17%	9,11%	10,23%	11,30%	11,33%	13,91%	9,38%	14,70%	14,06%	10,60%
3	35,31	39,10	37,32	38,35	38,85	38,84	38,99	39,32	39,33	39,87	37,81	38,30	38,33	38,01
	0,00%	10,73%	5,69%	8,61%	10,03%	10,00%	10,42%	11,36%	11,38%	12,91%	7,08%	8,47%	8,55%	7,65%
4	32,61	35,04	35,33	37,16	36,52	36,62	37,45	37,72	38,44	38,44	38,10	37,88	37,64	37,71
	0,00%	7,45%	8,34%	13,95%	11,99%	12,30%	14,84%	15,67%	17,88%	17,88%	16,84%	16,16%	15,42%	15,64%
5	35,5	38,36	37,52	37,57	38,83	37,56	38,85	39,13	38,32	39,17	38,66	38,42	38,70	38,77
	0,00%	8,06%	5,69%	5,83%	9,38%	5,80%	9,44%	10,23%	7,94%	10,34%	8,90%	8,23%	9,01%	9,21%
6	30,6	33,58	34,12	34,71	34,26	34,81	34,90	36,07	35,50	36,17	36,39	35,46	35,48	35,68
	0,00%	9,74%	11,50%	13,43%	11,96%	13,76%	14,05%	17,88%	16,01%	18,20%	18,92%	15,88%	15,95%	16,60%
media	0,00%	8,79%	8,46%	10,01%	10,05%	10,33%	11,90%	13,40%	13,46%	14,84%	12,60%	13,09%	12,63%	12,55%
	0,00%	1,89%	2,18%	3,13%	1,48%	2,52%	2,02%	2,71%	3,49%	2,78%	4,40%	3,39%	2,90%	3,52%

ANEXO A- Teor de umidade da madeira em equilíbrio com a temperatura e a umidade relativa.

Temperature		Moisture content (%) at various relative humidity values																		
(°C	(°F))	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
-1.1	(30)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
4.4	(40)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
10.0	(50)	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
15.6	(60)	1.3	2.5	3.6	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
21.1	(70)	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9
26.7	(80)	1.3	2.4	3.5	4.4	5.3	6.1	6.8	7.6	8.3	9.1	9.9	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6
32.2	(90)	1.2	2.3	3.4	4.3	5.1	5.9	6.7	7.4	8.1	8.9	9.7	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3
37.8	(100)	1.2	2.3	3.3	4.2	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17.0	19.5	22.9
43.3	(110)	1.1	2.2	3.2	4.0	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	12.0	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4
48.9	(120)	1.1	2.1	3.0	3.9	4.7	5.4	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.7	10.6	11.7	12.9	14.4	16.2	18.6	22.0
54.4	(130)	1.0	2.0	2.9	3.7	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	7.9	8.7	9.4	10.3	11.3	12.5	14.0	15.8	18.2	21.5
60.0	(140)	0.9	1.9	2.8	3.6	4.3	5.0	5.7	6.3	7.0	7.7	8.4	9.1	10.0	11.0	12.1	13.6	15.3	17.7	21.0
65.6	(150)	0.9	1.8	2.6	3.4	4.1	4.8	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1	8.8	9.7	10.6	11.8	13.1	14.9	17.2	20.4
71.1	(160)	0.8	1.6	2.4	3.2	3.9	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.5	9.3	10.3	11.4	12.7	14.4	16.7	19.9
76.7	(170)	0.7	1.5	2.3	3.0	3.7	4.3	4.9	5.6	6.2	6.8	7.4	8.2	9.0	9.9	11.0	12.3	14.0	16.2	19.3
82.2	(180)	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.1	7.8	8.6	9.5	10.5	11.8	13.5	15.7	18.7
87.8	(190)	0.6	1.3	1.9	2.6	3.2	3.8	4.4	5.0	5.5	6.1	6.8	7.5	8.2	9.1	10.1	11.4	13.0	15.1	18.1
93.3	(200)	0.5	1.1	1.7	2.4	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.7	9.7	10.9	12.5	14.6	17.5
98.9	(210)	0.5	1.0	1.6	2.1	2.7	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	8.3	9.2	10.4	12.0	14.0	16.9
104.4	(220)	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.8	8.8	9.9			
110.0	(230)	0.3	0.8	1.2	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.3	6.0	6.7						
115.6	(240)	0.3	0.6	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.1	3.5	4.1	4.6								
121.1	(250)	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9										
126.7	(260)	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4												
132.2	(270)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4													

Fonte: Glass, S.V.; Zelinka, A.L. ,(2010)