

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ÉBER NOGUEIRA MIRANDA

**COMPARAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS
COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA E DE SISAL**

MANAUS

2023

ÉBER NOGUEIRA MIRANDA

**COMPARAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS
COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA E DE SISAL**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (UEA-EST), para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Piño

MANAUS

2023

ÉBER NOGUEIRA MIRANDA

**COMPARAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS
REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA E DE SISAL**

Compósitos poliméricos

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (UEA-EST), para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Manaus (AM), 31 de Março de 2023

Banca De Avaliação



Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Piño

Orientador



Prof. Dr. Antônio Cláudio Kieling

Membro



Prof. Dr. Aristides Rivera Torres

Membro

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

M672cc Miranda, Éber Nogueira

Comparação de propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras de juta e de sisal : Materiais Compósitos / Éber Nogueira Miranda. Manaus : [s.n], 2023.

81 f.: color.; 31 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2023. Inclui bibliografia

Orientador: Piño, Gilberto Garcia Del

1. Sisal. 2. Juta. 3. Compósitos. 4. Tratamento. 5. Propriedades. I. Piño, Gilberto Garcia Del (Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Comparação de propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras de juta e de sisal

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade de entrar em uma universidade e poder alcançar mais um objetivo de vida, além de permitir que esta universidade existisse, pois foi através de um sonho que tudo isso se tornou possível, e acolheu a comunidade amazonense de forma que a população mais tem se beneficiado, gerando emprego e oportunidade de crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional na vida de todos.

Agradeço ao meu pai, minha mãe, meus irmãos, cunhada, sobrinha, avós e tios, a todos os meus familiares, pelos incentivos a não desistir e continuar até a conclusão. Dedico este trabalho ao meu avô Antônio, pois sem os conhecimentos adquiridos por ele para a minha vida pessoal, isso tudo não seria realizado.

Agradeço aos colegas de trabalho Caio Costa, Victor William, Carlos Setúbal, Yasmin Martins e Jéssica, pela oportunidade de estar trabalhando juntos no laboratório, e por proporcionarem momentos únicos em trabalho de equipe que levarei para a vida. Agradeço ao Josiel pela ajuda nos testes dos corpos de prova, infelizmente não pude acompanhar esta parte do trabalho.

Agradeço aos meus professores e orientadores Dr. Gilberto Garcia Del Piño, Aristides Rivera Torres, Antônio Cláudio Kieling e João Evangelista Neto, por permitirem que tudo isso fosse realizado, e pelos auxílios durante as atividades realizadas em laboratório. Também sou grato aos colaboradores, funcionários da UEA, por auxiliarem na parte material.

Agradeço aos amigos que passaram por minha vida, dentre eles Alanna Quésede, Lucas Carvalho, Júlio César, Lucas Senne, minhas amigas de lives Amanda Policarpo, a Zaza4, Júlia Cristina, a *Miomio*, Steph Vieira, Lais Blanco, a *Haruninha*, pela energia positiva e pelo apoio, direto ou indireto, para que eu chegasse até aqui de cabeça erguida e não desistir dos meus objetivos. Peço a Deus que abençoe vocês em suas vidas e realizações.

Agradeço aos professores dos cursos preparatórios para concursos públicos, em especial ao professor e delegado Fábio Silva, que também teve o sonho de levar a aprovação em concursos públicos e também pelos incentivos durante as aulas. Sou concursado e passei!

RESUMO

A constante busca pelo aperfeiçoamento tecnológico no que tange à utilização de vários tipos de materiais compósitos para a obtenção de diversos produtos existentes no mercado faz com que haja novos métodos e padrões no que diz respeito aos estudos de fontes alternativas e sustentáveis para a composição de novos materiais. Atualmente, o conceito de sustentabilidade está centrado no ponto de vista da preservação do meio ambiente, e isso influencia na questão do estudo de novos compósitos para a obtenção de materiais que não agridam a natureza, fato este já existente. A tendência mundial é que o ser humano passe a consumir bastantes produtos que, em um período de tempo, estes são descartados e não há, ainda, uma política voltada ao reaproveitamento destes, além de servir de benefício para a sociedade, tendo em vista a inclusão no mercado de trabalho de pessoas que vivem de reciclo de materiais. Outra questão a ser levantada e é muito pertinente é com relação ao estudo de fibras naturais que possam substituir as fibras artificiais ou sintéticas, aquelas as quais estão em estudo para que novos materiais compósitos venham a ser fabricados em larga escala. O presente trabalho visa o estudo comparativo das propriedades mecânicas de compósitos formados a partir da aplicação de resina epóxi junto a reforço de fibras naturais de sisal e de juta, tratadas com Hidróxido de Sódio (NaOH), com o fim de se obter melhores resistências aos materiais, dando a elas a devida importância no mercado de materiais para fins de reforços, e obter as médias dos valores das propriedades mecânicas assim coletados para fins de comparação entre os dois tipos de materiais.

Palavras Chave: Sisal, juta, compósitos, tratamento, Propriedades.

ABSTRACT

The constant search for technological improvement regarding the use of various types of composite materials to obtain various products on the market means that there are new methods and standards with regard to the study of alternative and sustainable sources for the composition of new materials. Currently, the concept of sustainability is about the point of view of environment protection, and this influences the issue of studying new composites to obtain materials that do not harm nature, a fact that already exists. The global trend is for human beings to start consuming many products that are discarded in a period and there's no policy aimed at their reuse, in addition to serving as a benefit to society, in view of the inclusion in the job market of people who make a living from recycling materials. Another issue to be raised and it is very pertinent is related to the study of natural fibers that can replace artificial or synthetic fibers, those which are under study so that new composite materials can be manufactured on a large scale. This work aims at comparative study of the mechanical properties of two composites, made with epoxy resin, each one with natural fiber reinforcement, sisal and jute, treated with Sodium Hydroxide (NaOH), for the purpose to obtain better resistance for these materials, giving to them the due importance materials employment, obtaining the mechanical properties value averages for comparison between these materials.

Keywords: Sisal, jute, composites, treatment, properties.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – Fibra de Juta não-tratada	22
FIGURA 2 – Sisal (Agave Sisalana Perrine)	23
FIGURA 3 – Extração da fibra de sisal	24
FIGURA 4 – Fibras de Sisal antes do tratamento	25
FIGURA 5 – Classificação dos tipos de polímeros	27
FIGURA 6 – Exemplo de materiais compósitos	30
FIGURA 7 – Diagrama de materiais compósitos	30
FIGURA 8 – Tipos de corpos de prova	31
FIGURA 9 – Simbologia de materiais recicláveis	34
FIGURA 10 – Simbologia dos materiais plásticos recicláveis	34
FIGURA 11 – Hidróxido de Sódio em escama	37
FIGURA 12 – solução NaOH e água destilada	38
FIGURA 13 – Pesagem das quantidades de NaOH para os tratamentos das fibras.....	39
FIGURA 14 – Fibras antes e depois dos tratamentos com NaOH	39
FIGURA 15 – Resina Epóxi	40
FIGURA 16 – Cabine de estufa para a secagem total das fibras antes de serem inseridas nos moldes	41
FIGURA 17 – Molde utilizado para a fabricação dos corpos de prova	42
FIGURA 18 – Cera desmoldante.....	42
FIGURA 19 – Fluxograma de fabricação dos corpos de prova	43
FIGURA 20 – Compósito de fibra de sisal, 2h	46
FIGURA 21 – Compósito de fibra de juta, 2,5h	46
FIGURA 22 – Compósito de fibra de juta, 5h, 1 camada	47
FIGURA 23 – Compósito de fibra de juta, 5h, 2 camadas	47
FIGURA 24 – Exemplo de gráfico de Tensão-Deformação	47
FIGURA 25 – Máquina universal de ensaios	54
FIGURA 26 – Corpos de prova organizados segundo seu percentual de tratamento e tempo	55

FIGURA 27 – Compósitos de sisal, 2h de tratamento, após os testes de tração	61
FIGURA 28 – Compósitos de juta, 2,5h de tratamento, após os testes de tração	61
FIGURA 29 – Compósitos de juta, 5h de tratamento, 1 camada, após os testes de tração	62
FIGURA 30 – Compósitos de juta, 5h de tratamento, 2 camadas, após os testes de tração	62
FIGURA 31 – Desenho à mão do corpo de prova, com medidas em mm	79

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – Aplicação de NaOH em água destilada	38
TABELA 2 – Quantidade de material matriz para a fabricação dos corpos de prova	40
TABELA 3 – Pesos dos corpos de prova, em gramas	48
TABELA 4 - Dimensões dos corpos de prova e velocidade de ensaio	49
TABELA 5 – Compósitos de sisal, 2h de tratamento	57
TABELA 6 – Compósito de juta, 2,5h de tratamento	58
TABELA 7 – Compósito de juta, 5h de tratamento, 1 camada	59
TABELA 8 – Compósito de juta, 5h de tratamento, 2 camadas	60
TABELA 9 - Propriedades Mecânicas dos corpos de prova com fibra de sisal.....	65
TABELA 10 – Variações dos valores médios das propriedades mecânicas dos corpos de prova com fibra de sisal	65
TABELA 11 – Propriedades Mecânicas dos corpos de prova com fibra de juta	67
TABELA 12 – Variações das propriedades mecânicas dos corpos de prova com fibra de juta	67
TABELA 13 – Resultado final das médias extraídas das propriedades mecânicas dos corpos de prova	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Carga e tensão dos corpos de prova com fibra de sisal	57
GRÁFICO 2 – Carga e tensão dos corpos de prova com fibra de juta, 2,5h	58
GRÁFICO 3 – Carga e tensão dos corpos de prova com fibra de juta, 5h, 1 camada	59
GRÁFICO 4 – Tensão e tensão dos corpos de prova com fibra de juta, 5h, 2 camadas	60
GRÁFICO 5 – Corpos de prova com fibra de sisal, inferências estatísticas	66
GRÁFICO 6 – Corpos de prova com fibra de juta, inferências estatísticas	68

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>ASTM</i>	<i>American Society for Testing Materials</i>
<i>UFRJ</i>	<i>Universidade Federal do Rio de Janeiro</i>
<i>IMA</i>	<i>Instituto de Macromoléculas</i>
<i>PET</i>	<i>Polietileno Tereftalato</i>
<i>NaOH</i>	<i>Hidróxido de Sódio</i>
<i>g</i>	<i>Unidade de grama</i>
<i>ml</i>	<i>Unidade de volume do líquido</i>
<i>h</i>	<i>Unidade de tempo horas</i>
<i>min</i>	<i>Unidade de tempo minutos</i>
<i>L</i>	<i>Comprimento da área útil do corpo de prova</i>
<i>P</i>	<i>Força aplicada, carga máxima</i>
ϵ	<i>Deformação</i>
σ	<i>Tensão</i>
Δ	<i>Variação</i>
<i>x</i>	<i>Variável de amostra para o cálculo de média</i>
\bar{X}	<i>Média das variáveis</i>
D_m	<i>Desvio Médio</i>
σ	<i>Desvio Padrão</i>
f_i	<i>Frequência</i>
<i>CV</i>	<i>Coefficiente de Variação</i>
<i>n</i>	<i>Número de variáveis</i>
Σ	<i>Somatório</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Contextualização	14
1.2. Justificativa e problemática	16
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Gerais	17
1.3.2. Específicos.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Fibras naturais	18
2.2. Tipos de fibras naturais	20
2.2.1. Fibra de juta	21
2.2.2. Fibra de sisal	22
2.3. Polímeros	25
2.4. Compósitos poliméricos	28
2.5. Corpos de prova	31
2.6. Aplicações práticas.....	32
3. METODOLOGIA	36
3.1. Materiais Utilizados	36
3.1.1. Fibras naturais selecionais	36
3.1.2. Hidróxido de Sódio	36
3.1.3. Resina e endurecedor epóxi	36
3.2. Preparação dos materiais	37
3.2.1. Tratamento químico das fibras	37
3.2.2. Fabricação dos corpos de prova	40
3.2.3. Resina, endurecedor epóxi e removedor de bolhas	40
3.2.4. Secagem e esterilização das fibras	41

3.3. Preparação dos moldes para o recebimento dos materiais	41
3.4. Fluxograma de fabricação dos corpos de prova	43
3.5. Resultados da fabricação dos corpos de prova	43
3.5.1. Compósito de sisal – 2h de tratamento	46
3.5.2. Compósito de juta – 2,5h de tratamento	46
3.5.3. Compósito de juta – 5h de tratamento – 1 camada	47
3.5.4. Compósito de juta - 5h de tratamento – 2 camadas	47
3.6. Ensaio de tração	49
3.6.1. Cálculo da tensão, deformação e módulo de elasticidade	51
3.6.2. Norma ASTM D638	53
3.6.3. Preparação dos corpos de prova para os testes de tração	54
4. INFERÊNCIAS GRÁFICAS	56
4.1. Quadros comparativos de carga máxima, tempo, deslocamento, tensão e deformação dos corpos de prova	57
4.1.1. Compósito de sisal – 2h de tratamento – valores coletados	57
4.1.2. Compósito de sisal – 2h de tratamento – carga e tensão- inferência gráfica	57
4.1.3. Compósito de juta – 2,5h de tratamento – valores coletados	58
4.1.4. Compósito de juta – 2,5h de tratamento - carga e tensão – inferência gráfica	58
4.1.5. Compósito de juta – 5h de tratamento – 1 camada – valores coletados	59
4.1.6. Compósito de juta – 5h de tratamento – 1 camada – Carga e Tensão – inferência gráfica	59
4.1.7. Compósito de juta – 5h de tratamento – 2 camadas – valores coletados	60
4.1.8. Compósito de juta – 5h de tratamento – 2 camadas – Carga e Tensão – inferência gráfica	60
4.2. Corpos de prova após os testes de tração	61

5. INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS.....	63
5.1. Inferências estatísticas dos compósitos de sisal	65
5.2. Inferências estatísticas dos compósitos de juta	67
5.3. Resultados finais	69
6. DISCUSSÕES ACERCA DOS RESULTADOS	70
6.1. Problemas encontrados	71
7. CONCLUSÃO	73
7.1. Sugestões para trabalhos futuros	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
APÊNDICE	79

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Os materiais, durante todo estes tempos enquanto a sociedade os manipulam, passam sempre por processos de melhoria, tendo em vista a qualidade, o bem-estar, o conforto e a saúde do ser humano, ao consumir produtos frutos da concepção de novas matrizes, poliméricas ou metálicas. Devemos às antigas civilizações o esforço pelo qual elas desempenharam ao desenvolverem ideias e concepções acerca do uso de certos tipos de materiais, os quais eram usados para a sobrevivência e conseqüentemente o desenvolvimento de cidades-estados, como foi com a civilização da Mesopotâmia. Antes de surgirem ferramentas e outros utensílios e meios os quais facilitavam a vida daqueles povos, a sociedade estava em busca de onde viver e com o que se sustentar, haja vista que ainda não havia como trabalhar, por exemplo, a terra para o cultivo. Eis, então, o surgimento de ferramentas, as quais deram origem à sociedade suméria.

Há mais de nove mil anos, havia uma pequena comunidade de pessoas em torno de dois rios históricos, os Rios Tigre e Eufrates. O que parecia ser algo inaproveitável e sem perspectiva de sobrevivência, ao longo do tempo essa sociedade foi aprimorando suas técnicas de cultivo de plantas, fabricação de objetos para o uso pessoal e tático, além de desenvolverem uma das primeiras ferramentas que facilitou o plantio, o arado, e, com o passar dos tempos, essas pessoas se transformaram em uma civilização desenvolvida, assim como as demais que surgiam conforme a linha do tempo andava. Desde então, surge também primeiras fontes de industrialização, as quais deram corpo às modernas fábricas, cujo início se dá através de simples artesãos até projetistas de máquinas. (HISTÓRIA EM REVISTA, 1992)

Desde aqueles tempos até a chamada Revolução Industrial, o modo de vida das pessoas foi se modificando, conforme necessidades surgiam, além da exigência de melhores condições de vida, o que é um processo natural de todo o ser humano enquanto ser pensante. O ponto principal em relação aos acontecimentos que surgiam

foi o nascimento das primeiras indústrias modernas, as quais deram origem às diversas fábricas e equipamentos. Desde as primeiras máquinas de tear, meios de transporte a vapor, iluminação pública a gás, até atualmente, o ser humano foi aprimorando ainda mais o conhecimento da indústria autônoma, não no sentido de as próprias máquinas trabalharem sozinhas, mas sim em melhorar o processo produtivo, além de gerar lucros, os quais são importantes para a sobrevivência, assim como as antigas civilizações. (HISTÓRIA EM REVISTA, 1992)

A partir do nascimento da indústria moderna, também houve a necessidade de se implementar melhorias aos produtos fabricados, e isso incluía o uso de materiais para a fabricação desses produtos, haja vista a exigência cada vez maior por parte das pessoas, o que o presente momento da sociedade demonstra. Surge, então, o estudo de novos materiais para diversos tipos de aplicações.

O surgimento de indústrias para diversos tipos de segmentos no mercado consumidor faz com que haja um crescimento e desenvolvimento do capital produtivo, vantagem para que diversas pessoas sejam beneficiadas através da inclusão delas no mercado de trabalho em diferentes segmentos industriais e até mesmo estendendo esta visão ao empreendedorismo, que vem crescendo nos últimos anos graças às facilidades de se obter conhecimento acerca do uso de novos materiais, buscando assim a melhor qualidade de vida a todos.

Aplicando este entendimento ao contexto de análise e estudos de materiais alternativos, é possível aplicar a produção de fibras naturais como forma de substituição das fibras artificiais ou sintéticas, que são materiais feitos a partir do petróleo ou não renováveis, trazendo a vantagem do melhor custo associando à melhor qualidade que as fibras naturais podem proporcionar, além de elas serem encontradas na natureza, razão esta que facilita o crescimento econômico e o aumento do capital produtivo, principalmente àquelas pessoas que vivem em zonas rurais.

Outro enfoque acerca de materiais alternativos é a questão de uso de compósitos poliméricos que são bastante utilizados por proporcionarem tanto

propriedades mecânicas melhores quanto a durabilidade que eles apresentam, além de serem mais leves e fáceis de serem reutilizados, constituindo assim em materiais recicláveis, o que vem sendo debatido em razão da quantidade de produtos que são descartados porém a matriz utilizada para a fabricação desses não permite a reciclagem, o que abre discussões acerca do destino final a esses bens.

Há de se pensar na expansão deste modelo de mercado de materiais recicláveis, visando o reaproveitamento de materiais poliméricos como forma de aquecer melhor o mercado produtivo, aliado às melhores condições que podem surgir principalmente às pessoas que vivem da agricultura e outras tantas que fazem do material reciclável sua fonte de sustento.

1.2. Justificativa e problemática

Tendo em vista o objetivo maior do estudo de compósitos com materiais alternativos, a grande questão que deve ser levada em consideração é o fator sustentabilidade, haja vista que grande parte do que é consumido – os bens de consumo fabricados com diversos tipos de materiais – quando descartados, tendem a não retornar por conta do material não ser ecologicamente correto, e isso vem causando problemas principalmente ao meio-ambiente. Conforme diz Alessandro Molon (2022), *“busca-se a transição para um modelo de desenvolvimento cujo impacto socioambiental seja o menor possível, ao mesmo tempo em que sejam gerados empregos bem remunerados a partir de atividades sustentáveis”*.

Segundo Molon (2022), Vivemos hoje um dos momentos mais críticos da humanidade, com a sobreposição de múltiplas crises: climática, sanitária e socioeconômica. Diante de tais fatores que imperam a sociedade brasileira, a questão que envolve o uso de novos materiais entra nessa discussão, cuja problemática se dá por conta da reciclagem, que é um dos pontos principais para a discussão de novas formas de fazer do país um lugar autossuficiente de materiais, além de gerar riquezas para inúmeras famílias que vivem da reciclagem.

Ainda segundo Molon, A década de 2010 no Brasil caracterizou-se pelo baixo crescimento e acelerada desindustrialização. Os períodos de recessão, associados à imposição de uma agenda de austeridade e à crise provocada pela pandemia do coronavírus, levaram a renda per capita em 2020 a um patamar inferior ao de 2008. Hoje, temos taxas de desemprego recordes, informalidade crescente e o retorno do país ao mapa da fome. Os investimentos em infraestrutura no Brasil são insuficientes e desconectados da necessidade de um país de dimensões continentais.

Por isso, faz-se necessário o estudo de novos materiais, sobretudo aqueles que são fabricados com materiais que respeitam o meio ambiente, atendam aos quesitos advindos de um acordo de preservação ambiental, além de causarem impactos positivos tanto para a natureza como para o bem-estar da sociedade, principalmente as pessoas que vivem a depender do cultivo das fibras naturais, as que estão sendo utilizadas para fins de reforço estrutural do material compósito, e também aquelas famílias que vivem da reciclagem de materiais poliméricos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Gerais

O objetivo deste trabalho é realizar estudos comparativos entre as propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados com as fibras de sisal e de juta, aliando aos conhecimentos que vão desde os primeiros povos até os dias atuais no que se relaciona ao contexto de materiais, sustentabilidade e reaproveitamento, visando um impacto positivo para a sociedade diante de um assunto cada vez mais decorrente e de grande importância para o desenvolvimento da humanidade.

1.3.2. Específicos

Utilizar a norma ASTM D638 para os estudos comparativos de propriedades mecânicas entre os compósitos poliméricos reforçados com fibra de sisal e de juta, através de corpos de provas fabricados em laboratório para a obtenção dos resultados inerentes à norma, bem como o uso de ferramentas estatísticas para compor um

quadro comparativo entre os materiais citados, coletando os dados dos testes de tração e apresentando em forma de tabelas e gráficos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fibras naturais

Conforme a indústria moderna cresce, em rápido ritmo de competitividade e a busca por melhores condições de vida, faz-se necessário estudar alternativas que garantam a melhor produtividade e o melhor ganho para as indústrias locais, além de pensar em condições que agreguem o conceito de sustentabilidade no que tange a diminuição de matérias primas que a cada dia tem se mostrado um verdadeiro problema às condições sanitárias quando não reutilizadas.

Observa-se que há uma quantidade imensa de produtos finais que, passado o tempo de uso, são descartados aonde não há um controle prévio destes materiais que poderiam ser reutilizados da melhor maneira, e assim contribuir para o crescimento da economia e garantindo assim a qualidade de vida a pequenos empreendedores no ramo da reciclagem e a toda a população.

De meados do século XX até hoje, várias pesquisas tem se mostrado promissoras na questão da reutilização de materiais poliméricos, somado com estudos que viabilizem o uso de fibras naturais para a fabricação de compósitos. As fibras naturais vêm mostrando cada vez mais a importante atuação neste cenário, visto que se comparado com as fibras artificiais ou sintéticas, elas se comportam da mesma maneira que essas, trazendo assim a vantagem de serem utilizadas como reforços estruturais em polímeros.

Quando se trata de fibras artificiais ou sintéticas, é importante levar em consideração algumas observações acerca do uso delas, que é atualmente em grande escala, se comparado com as fibras naturais. As fibras artificiais ou sintéticas são feitas de forma industrial, porém não foram feitas para serem reutilizadas, devida às composições que esses materiais apresentam.

Dentre aplicações, há uma importância relevante na utilização das fibras naturais na fabricação de compósitos poliméricos de aeronaves, de veículos automotores, de embarcações e diversos outros tipos de aplicações cuja viabilidade se mostra bastante promissora na questão do uso das fibras naturais como reforços em matrizes poliméricas, além de serem úteis em questão de isolamento ou absorção acústica, o que já abre campos de estudo na parte de propriedades acústicas.

As fibras naturais são importantes fontes de matérias-primas e fornecem diversas vantagens em relação às fibras sintéticas, com características de leveza e resistência, sendo produtos renováveis, recicláveis e biodegradáveis. Além disso, geram trabalho na agricultura, evitam o êxodo rural e são fontes de renda em áreas carentes em todo o mundo, contribuindo para o desenvolvimento sustentável (CANTALINO, TORRES; 2014). São renováveis por excelência, onde absorvem a mesma quantidade de dióxido de carbono que produzem. Durante seu processamento, geram resíduos essencialmente orgânicos e deixam escórias que podem ser utilizados na geração de energia elétrica e, ao final de seu ciclo de vida, são 100% biodegradáveis (BRITO, ARAÚJO; 2011).

As fibras naturais, conhecidas como fibras lignocelulósicas ou fibras vegetais, morfológicamente são células esclerenquimatosas de forma tipicamente prosenquimatosas, ou seja, de comprimento igual a muitas vezes a largura. As fibras naturais, quando incorporadas aos plásticos, podem ser processadas por praticamente todos os métodos convencionais de processamento de plásticos (extrusão, injeção, calandragem e prensagem) e possuem menor densidade que as fibras inorgânicas tais como as fibras de vidro. Em termos nacionais, o Brasil é sem dúvida um dos países que possuem uma das maiores biomassas vegetal do mundo e a maior extensão territorial cultivável, cujo potencial deve ser melhor explorado. Além disso, o interesse crescente da sociedade pelo uso de materiais “ecologicamente corretos” faz com que as fibras vegetais retomem o espaço perdido para os sintéticos em vários setores (MEDINA, 1959).

As fibras vegetais vêm sendo utilizadas para a obtenção de compósitos poliméricos, como forma de substituir as fibras sintéticas até então existentes no mercado. Isso gera um fator relevante no que diz respeito ao impacto econômico no que tange ao custo final de um produto fabricado a partir de compósito polimérico com fibras vegetais, além de apresentarem boas propriedades mecânicas, segundo testes realizados em laboratório para a obtenção de dados que comprovem positivamente o uso para posteriores fabricações de peças segundo a sua aplicação.

As fibras naturais possuem a vantagem de serem extraídas de forma natural, dado pela natureza delas, diferentemente das fibras artificiais ou sintéticas cujo trabalho de composição destas fibras requer um esforço até massivo para a sua constituição, e são extraídas a partir do solo fértil, a depender da Região Geográfica, vantagem esta de serem produzidas em massa.

A utilização de compósitos reforçados com fibras vegetais não é recente e as primeiras patentes datam da década de 60. Durante os anos 70 e 80, as fibras sintéticas substituíram as fibras vegetais, devido ao seu melhor desempenho e aos aspectos econômicos. A partir da década de 90, uma visão mais realística ou “ecológica” do processo industrial fez ressurgir o interesse em materiais renováveis, tais como as fibras e os óleos vegetais. Associado aos aspectos ecológicos há também os aspectos tecnológicos e as vantagens econômicas no uso destes materiais. A questão social é também um forte argumento para o incentivo da produção destes compósitos, uma vez que estes materiais são geralmente oriundos de regiões economicamente pobres (SILVA, 2003).

2.2. Tipos de fibras naturais

Como mencionado anteriormente, as fibras naturais possuem em grande quantidade em território brasileiro, e vem sendo estudadas e aplicadas em fabricação de compósitos poliméricos reforçados com tais fibras, além de utilizadas em indústrias têxteis. Altamente vantajosa para o aquecimento na indústria nacional, visto que, conforme mencionado, há famílias que vivem em campos e de baixa renda e que é por meio desta atividade que elas sobrevivem.

Os tipos de fibras naturais existentes no mercado são as fibras de Curauá, de Juta, de Sisal, de açai, de bananeira, entre outras. Apresentam boas propriedades mecânicas, visto que já são aplicáveis em alguns nichos de mercado. Dentre estas fibras, apenas a de juta e de sisal foram selecionadas para o estudo das propriedades mecânicas e, para a fibra de sisal, o estudo das propriedades acústicas, tendo em vista que o formato dela é um tecido, o que facilita a análise.

2.2.1. Fibra de juta

Não é de agora que a fibra de juta desempenha o seu papel importante para o mercado nacional e internacional, servindo de recurso essencial para o crescimento econômico e sustentável assim como as demais que existem na natureza e que até então são economicamente viáveis para a confecção de materiais compósitos.

A juta, *Corchorus capsularis*, cultivada na Amazônia, é uma planta dicotiledônea, têxtil, anual, pertencente à família *Tiliaceae*. Após a colheita e a maceração biológica e/ou desfibrilamento mecânico de suas hastes, se extrai a fibra liberiana com múltiplas unidades.

A juta foi trazida em 1930 por imigrantes japoneses que aqui vieram se fixar, adaptando-a, em 1934, às condições ambientais no município de Parintins- Amazonas (LIBONATI, 1958).

Desde os anos de 1950, a juta já vem desempenhando seu importante papel na indústria amazônica. O Brasil importava uma média de 20 mil toneladas por ano, mas, a partir de 1953, a produção da Região Amazônica levou à autossuficiência nacional, chegando a exportar pequena parcela do produto manufaturado.

A juta é uma fibra têxtil vegetal que hoje é uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas da região amazônica, sendo um fator fundamental da fixação de mais de 200 mil famílias no campo. O plantio da juta no Brasil é realizado nas margens dos Rios Solimões e Amazonas no início da vazante. (IDEIA SUSTENTÁVEL, 2014)

Na região amazônica, os centros produtores de fibra são os Estados do Amazonas (74%) e Pará (24%). A produção de fibras têxteis liberianas tem grande importância socioeconômica, por contribuir com 50% de matéria prima para a indústria de aniagem e por ser a fonte de renda da população ribeirinha, representada por pequenos produtores.

No processo de transformação da fibra em tecido são utilizados apenas aditivos orgânicos e os óleos vegetais. Isso, associado às características naturais da planta, faz com que os produtos de juta sejam totalmente biodegradáveis. Ou seja, quando o produto de juta perde sua utilidade e é descartado, ele se desintegra completamente em menos de um ano sem deixar qualquer resíduo ou dano ambiental. (IDEIA SUSTENTÁVEL, 2014)



FIGURA 1 – Fibra de Juta não-tratada – (Fonte: O Autor)

2.2.2. Fibra de sisal

A fibra de sisal se assemelha, visualmente, com a fibra de curauá, porém apresenta propriedades diferente desta. O sisal dá origem à principal fibra dura produzida no mundo, contribuindo com, aproximadamente, 70% da produção comercial de todas as fibras desse tipo (FAO, 1996).

A planta do sisal é originária da península de Yucatã, no México, tendo recebido este nome de uma erva nativa chamada zizal-xiu. Em 1834, as primeiras mudas foram levadas para o sul da Flórida, Estados Unidos, e a partir de 1892 começaram a ser cultivadas na África. No Brasil, as primeiras mudas de *Agave sisalana Perrine* foram introduzidas na Bahia em 1903, sendo esta a única espécie do gênero *Agave* cultivada comercialmente no país. As fibras são extraídas das folhas, que possuem de 8 a 10 cm de largura e de 150 a 200 cm de comprimento. Da folha se obtém de 3 a 5% do seu peso em fibra. Os 95 a 97% restantes constituem os chamados resíduos do beneficiamento, que são utilizados como adubo orgânico, ração animal e pela indústria farmacêutica. (MARTIN; MARTINS; MATTOSO; SILVA; 2008)



**FIGURA 2 – Sisal (*Agave Sisalana Perrine*) –
(Fonte: ResearchGate, 2021)**

A fibra do sisal, na forma bruta, beneficiada ou industrializada, representa importante fonte de divisas para esses Estados, por se tratar de um produto de exportação que gera divisas em torno de 80 milhões de dólares e, também, pela capacidade de gerar empregos, por meio de sua cadeia de serviços, que envolve as atividades de manutenção das lavouras, colheita, desfibramento, beneficiamento da fibra, industrialização e confecção de artesanato (SILVA; BELTRÃO, 1999).

O sisal, tecnicamente conhecida como planta monocotiledônea, produz fibra dura e grossa, de cor creme ou amarelo pálido, de 1 a 1,5 m de comprimento, que abastece 70% do mercado mundial de fibras duras. Cerca de 60% da produção são empregados na fabricação de barbante usado na agricultura, especialmente nas máquinas enfardadeiras, para a amarração de feno.



FIGURA 3 – Extração de fibra de sisal – (Fonte: Odilon Reny, 2021)

No Brasil, a extração da fibra era feita, de início, por meio de um instrumento simples, chamado farracho ou alicate, cujo processo, bastante rudimentar, baseava-se na raspagem da folha para a retirada da polpa ou da mucilagem que envolve a fibra, por meio de lâminas de ferro. Depois, com o aumento da área plantada, desenvolveram-se rotores raspadores, de acionamento mecânico. Esta máquina, denominada "motor de agave" ou "máquina Paraibana" é, ainda hoje, a principal desfibradora dos campos de sisal. (EMBRAPA; 2021)



FIGURA 4 – Fibras de Sisal antes do tratamento – (Fonte: O Autor)

2.3. Polímeros

Os polímeros são macromoléculas compostas por muitas unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligações covalentes. Existem polímeros obtidos de fontes não-renováveis, como polímeros obtidos de fontes renováveis. Polietileno, polipropileno e o policloreto de vinila, polímeros muito comuns no dia a dia são exemplos de polímeros advindos de fonte não renovável. A quitosana, colágeno e amido termoplástico são polímeros advindo de fontes renováveis. Outra classe de polímeros são os elastômeros, com capacidade de se deformar 3 vezes o seu comprimento inicial, como a borracha natural. A maioria dos polímeros são isolantes térmicos e elétricos. Estudos recentes visam a produção e utilização de polímeros de fontes renováveis, ou que sejam biodegradáveis após sua utilização. Dentre outras linhas de pesquisa podem ser citados os polímeros para aplicação médica, como em próteses, e os polímeros condutores para aplicações em robótica, energia solar e eletrônica. Devido características de baixa densidade, menores custos de material e processamento, como a capacidade de se obter as mais variadas formas, os polímeros são empregados em muitos setores como indústria têxtil, embalagens, automobilística, tintas, cosmética, agroindustrial, adesivos e saúde. (UFLA; 2022)

Os materiais poliméricos são mais antigos do que se pensa, eles têm sido usados desde a Antiguidade. Contudo, nessa época somente eram usados materiais poliméricos naturais, a síntese artificial de polímeros é um processo que requer tecnologia sofisticada, pois envolve reações de química orgânica, ciência que só começou a ser dominada a partir da segunda metade do século XIX. (SOUZA; 2022)

A partir daí começaram a surgir polímeros modificados a partir de materiais naturais, mas somente no início do século XX os processos de polimerização artificial surgiram. Desde então esses processos passaram por aperfeiçoamento e colaboraram para a obtenção de plásticos, borrachas e resinas cada vez mais sofisticadas e baratas, graças a uma engenharia molecular cada vez mais complexa. (SOUZA; 2022)

Polímeros são materiais que apresentam em sua estrutura molecular unidades relativamente simples que se repetem, ligadas entre si por ligações covalentes do tipo sp^3 ($^{13}\text{C}-^{12}\text{C}$; $^{13}\text{C}-^{13}\text{C}$; $^{14}\text{C}-^{12}\text{C}$; ...). Este tipo de ligação favorece uma grande estabilidade físico-química, formando longas cadeias e, portanto, resultando em compostos de alta massa molecular. Essas unidades que se repetem são conhecidas como meros ou unidades monoméricas. No entanto, existem polímeros que não possuem massa molecular muito elevada. Esses polímeros são chamados oligômeros. Para os polímeros que realmente possuem alta massa molecular (da ordem de 10³ a 10⁶ g/mol), usa-se a expressão alto polímero (*high polymer*). (SILVA, Bathista e; SILVA, Emerson O. da; 2003)

O termo polímero vem do grego e quer dizer muitas partes, já o termo oligômero, também do grego, significa poucas partes. Os polímeros, diferentemente das substâncias químicas de baixa massa molecular, são produtos heterogêneos, pois podem possuir uma mistura de moléculas de diferentes massas moleculares, apresentando, portanto, polimolecularidade. (SILVA, Bathista e; SILVA, Emerson O. da; 2003)

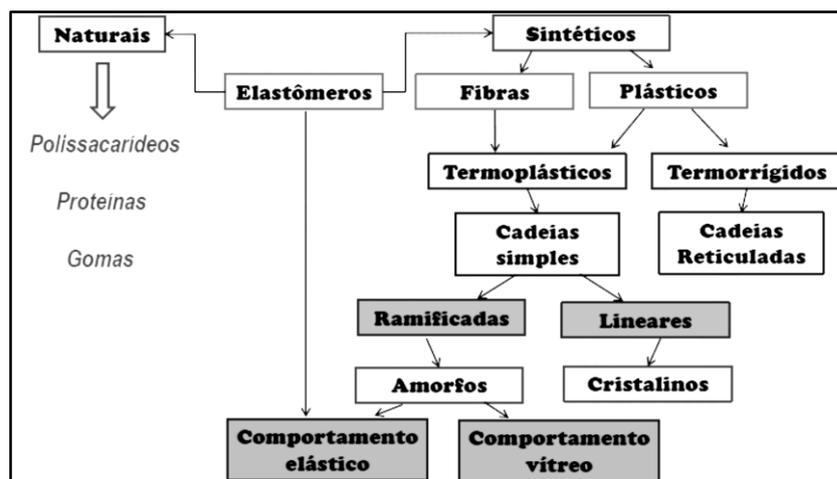


FIGURA 5 – Classificação dos tipos de polímeros –
(Fonte: Instituto de Macromoléculas IMA UFRJ)

Os polímeros apresentam um comportamento reológico - flexível em relação ao índice de deformidade - complexo, são compostos formados por macromoléculas, formadas por pequenas partes que são chamadas de monômeros. Os monômeros são as unidades que se repetem dentro da estrutura do polímero e podem ou não ser unidades iguais, formando longas cadeias. Podem ser naturais ou sintéticos, termoplásticos ou termofixos e com propriedades específicas de acordo com os monômeros que formam a macromolécula dos diversos polímeros existentes. (QUEVEDO; 2022)

Polímeros naturais derivam de plantas e animais, alguns exemplos são, celulose, amido, látex natural, fibras naturais (algodão, lã, juta, sisal) couro e cera. Se as partes são sempre iguais, os materiais são ditos homopolímeros e quando se apresentam dois ou mais tipos diferentes de unidades repetitivas eles são chamados de copolímeros. Existem os polímeros naturais modificados, que são obtidos por transformação química dos polímeros naturais, sem modificações apreciáveis. Exemplo: nitrocelulose (celulóide), acetato e triacetato de celulose (rayon), borracha natural clorada, etc. (QUEVEDO; 2022)

O polímeros sintéticos são obtidos por processos de polimerização a partir de substâncias de baixo peso molecular. Petróleo e derivados são a base para a produção de polímeros sintéticos. Ex: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliamidas (PA), acrílicos (PVC), poliestireno e fibras sintéticas (náilon), poliéster (UP), poliuretano (PU). (QUEVEDO; 2022)

As cadeias poliméricas podem ser lineares ou ramificadas, podendo, no caso dos polímeros termofixos, serem reticuladas. Os polímeros podem ainda ser classificados em termoplásticos e termofixos.

Termoplásticos: São polímeros que podem ser reprocessados quando aquecidos novamente, podendo ser remoldados. Este processo pode ser repetido inúmeras vezes, contudo, a cada reprocessamento, há perda de algumas propriedades, que podem ser compensadas se realizarmos a mistura com material virgem. Exemplo: Polietileno, Poliamidas, Policarbonato e Poliestireno. (QUEVEDO, et al; 2022)

Termofixos: São polímeros que não podem ser reprocessados pois possuem reticulações em sua estrutura, e quando são reaquecidos, há o rompimento das ligações cruzadas (reticulações), degradando o material. Isso não significa que não seja possível reutilizar os termofixos. Eles podem ser adicionados em pequenas quantidades como cargas e reforços, inclusive em materiais termoplásticos. São obtidos sob efeito de temperatura e pressão, moldados e quando resfriam endurecem. Exemplos: Baquelite, Resina epóxi e Poliuretano. (QUEVEDO, et al; 2022)

2.4. Compósitos poliméricos

Compósito é “qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades” (CALLISTER, 2002). É um material multifásico cujas propriedades sejam de uma combinação das propriedades de dois materiais que congregam um compósito. São dois tipos de materiais que se combinam, formando um único material capaz de atender a esforços maiores que o material individual.

Um material compósito não é novidade para o mundo neste presente século, tendo em vista que, com o avançar dos tempos, a sociedade sempre buscou alternativas para substituir determinados materiais, razão esta que motivou o estudo

de materiais compósitos, e entre estes, estão os que são reforçados com fibras, sejam sintéticas ou até mesmo naturais. A ideia de usar fibras, no caso das vegetais, vem desde as antigas civilizações, a exemplo dos tijolos de barro reforçados com fibras naturais, o que sugere o significado de um tipo de material composto, o qual pode ser reforçado com fibras.

Isso é um ponto importante para o estudo de novos materiais que cada vez mais vem ganhando notoriedade, sobretudo no aspecto socioeconômico no que diz respeito ao modelo de sustentabilidade. Outro ponto que é bastante curioso de entender acerca desses tipos de materiais é que podem ser encontrados na natureza. O osso humano é uma espécie de compósito natural, cuja composição é colágeno e minerais. A madeira também é um tipo de material compósito, por se tratar de uma mistura de várias ligas que a compõem, dentre elas a lignina, que é um polímero natural, além da celulose, a qual é bastante conhecida.

A estrutura de um compósito é dotada da fase matriz, associada a uma fase dispersa. Os corpos de prova, objetos de estudo deste trabalho, são fabricados a partir da resina epóxi, um polímero que constitui a fase matriz, reforçado com uma fase dispersa e de orientação contínua, que são as fibras naturais. Estas, por sua vez, garantem uma maior resistência mecânica ao material num todo, razão porque elas são importantes para uma melhora significativa das propriedades mecânicas dos materiais compósitos.

Os materiais compósitos podem ser feitos a partir de reforços denominados *sandwich*, ou sanduíche, o qual consiste em camadas, ou lâminas, de materiais ao longo de toda sua matriz. O mais comum que existe no mercado é o que equipa as aeronaves comerciais, por exemplo.

A característica que identifica um material compósito é a presença de uma interface nítida entre os materiais utilizados, divididos entre matriz e fibras. Estas últimas são responsáveis pelas propriedades mecânicas e podem ser distribuídas no material em diversos arranjos. Já a matriz, ela confere forma ao produto e distribui o estresse aplicado entre as fibras. Por isso, os materiais compósitos são versáteis,

leves e, geralmente, com alta resistência mecânica, ampliando seu uso em veículos e aviões ao permitir menor consumo de combustível. (EDC TECNOLOGIAS, 2020)

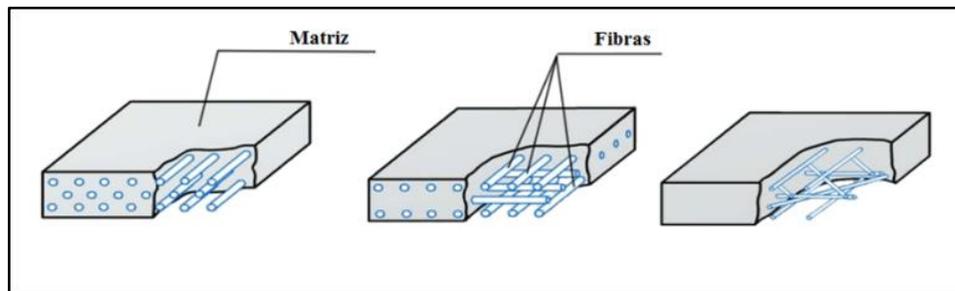


FIGURA 6 – Exemplo de materiais compósitos – (FONTE: BETAEP, 2017)

O diagrama abaixo auxilia, para a compreensão geral, acerca dos tipos de materiais compósitos encontrados no mercado, por se tratar de uma variedade enorme de arranjos que um compósito pode ter. O diagrama, proposto por Callister (2012), facilita na compreensão dos tipos de materiais compósitos poliméricos de variados arranjos, os quais possuem suas particularidades no que tange ao conceito de propriedades mecânicas que esses materiais possuem, a fim de garantir suas aplicações para os fins a que possam servirem, levando em consideração o quanto o material pode sofrer com o tempo de uso ou de outros fatores que venham a comprometer o tempo de vida útil do material compósito, em princípio.

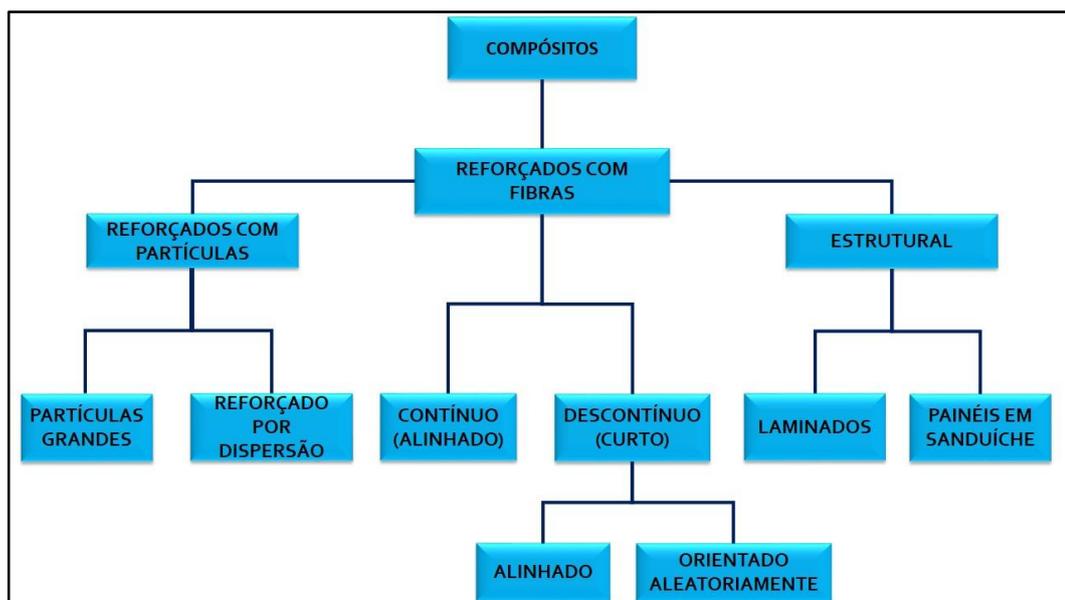


FIGURA 7 – Diagrama de materiais compósitos – (Fonte: CALLISTER, 2012)

2.5. Corpo de prova

O corpo de prova é definido como um elemento polimérico, utilizado para a *execução do ensaio de tração*, conforme dita a norma ASTM 638, a qual trata acerca das propriedades mecânicas de um material polimérico. (BIOPDI et al., 2022)

Um corpo de prova é um material flexível, podendo ter seção transversal circular, quando produzidos por fundição ou torneados, e também possuem a seção transversal retangular, quando retirados de chapas ou formas conforme as mostradas anteriormente. (BIOPDI et al., 2022)

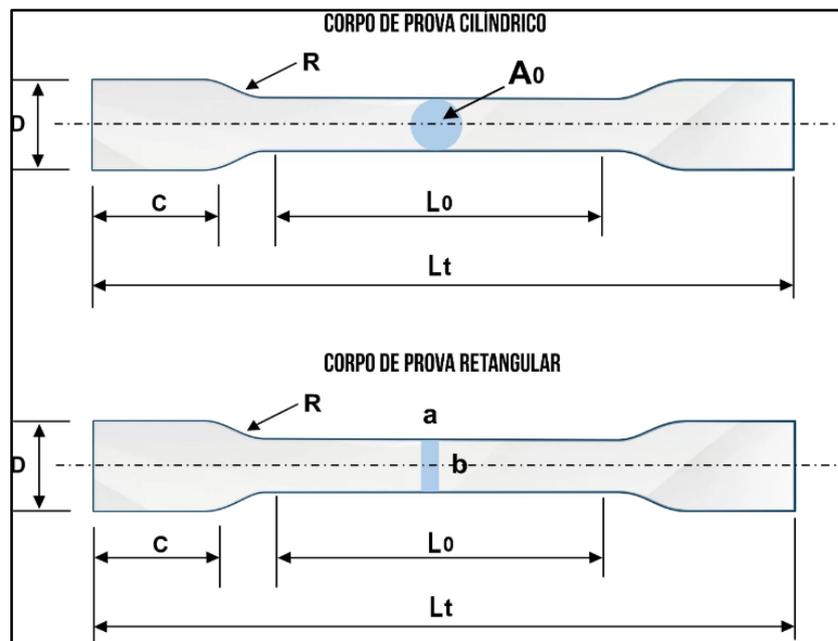


FIGURA 8 – tipos de corpos de prova –
(Fonte: BIOPDI, 2022)

A forma e dimensões do corpo de prova variam de acordo com a rigidez do material ensaiado, com a capacidade da máquina e com a geometria do produto acabado de onde foi retirado, de modo a garantir que ocorra a fratura na região útil do corpo de prova para poder validar o ensaio. (BIOPDI et al., 2022)

As propriedades mecânicas do material são medidas na parte útil do corpo de prova (região L_0) e as regiões extremas que são fixadas nas garras da máquina, são conhecidas como cabeças (D). As cabeças devem ter seção maior do que a parte útil

para que a ruptura do corpo de prova não ocorra nelas e suas dimensões e formas dependem do tipo de fixação da máquina. (BIOPDI et al., 2022)

Assim, em função do corpo de prova é possível determinar informações tanto do comportamento mecânico do material, quanto do processo de fabricação, como laminação, injeção, fundição ou de juntas soldadas. (BIOPDI et al., 2022)

Os corpos de prova utilizados para o estudo comparativo dos materiais compósitos seguem o modelo do corpo de prova de seção retangular, cujo material consiste em um compósito polimérico reforçado com fibra natural. No apêndice, está uma ilustração de um desenho, o qual foi baseado nos corpos de prova utilizados para os testes, seguindo de suas principais medidas.

2.6. Aplicações práticas

O estudo de resistência dos materiais é primordial para o desenvolvimento de novos materiais, aprimoramento e manutenção de componentes de um determinado dispositivo ou máquina, que garantem o bem-estar da população. O estudo de materiais não é algo novo, datando desde os primórdios da humanidade, a partir do uso de ferramentas para o cultivo de alimentos, até os registros de primeiras máquinas a vapor, as quais revolucionaram a história de todos os povos e hoje desfrutamos dos bens que são frutos dessa revolução industrial.

Com o passar dos tempos, vários materiais tem sido apresentados como forma de obter melhorias nos processos produtivos. Desde o aço até o polímero, todos têm sua importância dentro do contexto social e econômico, tendo em vista que um material novo pode ser benéfico a um determinado grupo social. Isso se observa, em muitas ocasiões, no contexto de reaproveitamento de materiais poliméricos, cuja atividade é realizada por catadores de materiais sólidos, não sendo apenas os polímeros, sendo um universo de possibilidades que levam a essas famílias, que dependem dessa atividade para sobreviver, muitos benefícios.

O estudo de novos materiais congrega, além dos tradicionais conhecidos, os compósitos que vem ganhando espaço, apresentando as mesmas propriedades mecânicas daqueles, sendo até mesmo potenciais substitutos. Os materiais recicláveis entram nessas características, o que favorece o desenvolvimento sustentável e socioeconômico.

A exemplo de materiais renováveis, há o PET, bastante aplicado em produtos diversos, além de outros materiais cuja matriz seja o polímero. Nas últimas décadas as indústrias, principalmente de bebidas e alimentos, estão substituindo as embalagens de vidro e latas pelas de plástico PET. Por serem mais resistentes e econômicas, o PET já está presente nas embalagens de sucos, águas, óleos e refrigerantes. Quando começou a ser usado, o PET não era reciclado e seu descarte na natureza provocava muita sujeira e poluição ambiental. Atualmente, a reciclagem de PET é praticada em larga escala por cooperativas e empresas de reciclagem. (SÓ BIOLOGIA, et al; 2008)

A reciclagem do plástico é de extrema importância para o meio ambiente. Quando reciclamos o plástico ou compramos plástico reciclado estamos contribuindo com o meio ambiente, pois este material deixa de ir para os aterros sanitários ou para a natureza, poluindo rios, lagos, solo e matas. Não podemos esquecer também, que a reciclagem de plástico gera renda para milhares de pessoas no Brasil que atuam, principalmente, em empresas e cooperativas de catadores e recicladores de materiais reciclados. (SÓ BIOLOGIA, et al; 2008)

Os materiais poliméricos possuem uma característica térmica que permite que os mesmos sejam reciclados através do emprego de temperatura, onde estes materiais passam do estado sólido para o estado líquido pastoso (fundido), e podem ser reprocessados através dos diversos tipos de processos de transformação existentes. Os materiais poliméricos que possuem essa característica de reprocessamento são os termoplásticos. (INFOESCOLA, et al; 2023)

Parece um processo simples, mas requer muita atenção, pois os resíduos que são reciclados passam por algumas etapas antes de poderem passar pela etapa de

reprocessamento, além disso é necessário separar os materiais termoplásticos de acordo com o polímero do qual o resíduo é feito, para que no momento de reprocessá-los não haja degradação devido à incompatibilidade de materiais. (INFOESCOLA, et al; 2023)

Todas as categorias de materiais recicláveis possuem símbolos que facilitam a sua identificação no momento da separação e seleção destes materiais antes de serem reprocessados. Essas simbologias se baseiam na norma ISO 14062. (INFOESCOLA, et al; 2023)

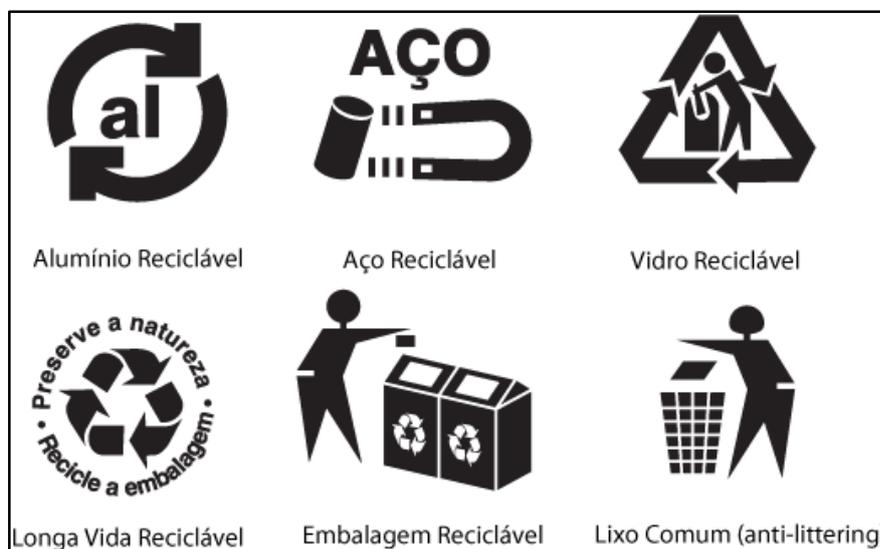


FIGURA 9 – Simbologia de materiais recicláveis – (Fonte: Info Escola)

Para os materiais plásticos em específico, existe ainda uma outra classificação por meio de símbolos, que definem uma classificação dos materiais plásticos de acordo com o polímero, como podemos verificar na imagem a seguir:



FIGURA 10 – Simbologia dos materiais plásticos recicláveis – (Fonte: Info Escola)

Resistência dos materiais é o estudo das propriedades mecânicas a que são submetidos os materiais objetos de testes, sendo os estudos de tração e compressão os principais para a análise do comportamento dos materiais segundo a sua aplicação. É uma ciência baseada em ensaios experimentais e análise teórica. Os ensaios ou testes experimentais visam determinar as características intrínsecas ao material em relação às suas propriedades mecânicas envolvidas. (HALLACK, et al; 2012)

Para isso, HALLACK et al. (2012) afirmou que são admitidos alguns postulados:

1. **Continuidade física** – A matéria apresenta uma estrutura contínua, ou seja, são desconsiderados todos os vazios e porosidades;
2. **Homogeneidade** – O material apresenta as mesmas características mecânicas, elasticidade e de resistência em todos os pontos;
3. **Isotropia** – O material apresenta as mesmas características mecânicas elásticas em todas as direções;
4. **Equilíbrio** – Se uma estrutura está em equilíbrio, cada uma de suas partes também está em equilíbrio.
5. **Pequenas deformações** – As deformações são muito pequenas quando comparadas com as dimensões da estrutura
6. **Saint – Venant** – Sistemas de forças estaticamente equivalentes causam efeitos idênticos em pontos suficientemente afastados da região de aplicação das cargas;
7. **Seções planas** – A seção transversal, após a deformação, permanece plana e normal à linha média (eixo deformado);
8. **Conservação das áreas** – A seção transversal, após a deformação, conserva as suas dimensões primitivas;
9. **Lei de Hooke** – A força aplicada é proporcional ao deslocamento.

$$P = kd \quad (1)$$

Onde:

“P” é a Força, ou carga aplicada; “k” é a constante elástica de rigidez; e “d” é o deslocamento.

10. **Princípio da superposição de efeitos** – Os efeitos causados por um sistema de forças externas são a soma dos efeitos produzidos por cada força considerada agindo isoladamente e independente das outras.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais utilizados

3.1.1. Fibras naturais selecionadas

As fibras de sisal e de juta foram selecionadas para este estudo e, conforme já relatadas anteriormente, mostram a importância para esta análise, por terem como característica principal a degradação natural, devida às suas características, e por se apresentarem como potenciais reforços em matrizes poliméricas.

3.1.2. Hidróxido de sódio

O Hidróxido de Sódio é um dos componentes do tratamento das fibras naturais, possibilitando a adesão destas com o material polimérico.

3.1.3. Resina e endurecedor epóxi

Utilizada para a obtenção do polímero, diga-se, da simulação de um material polimérico, adicionada às fibras naturais, as quais foram utilizadas para a obtenção de dados das propriedades mecânicas.

O método de estudo foi baseado nas normas ASTM 638 no que tange às propriedades mecânicas, para a obtenção dos valores com o fim de obter as médias dos resultados obtidos neste estudo, visando à comparação destes em relação ao comportamento das fibras naturais utilizadas para esta análise. De caráter experimental, com revisão bibliográfica e pesquisas que versem sobre a evolução histórica da sociedade, em relação ao propósito dos materiais compósitos, bem como informações obtidas mediante sites e artigos encontrados na internet de caráter informativo.

O trabalho foi desenvolvido em laboratórios situados nos complexos da Escola Superior de Tecnologia, da Universidade do Estado do Amazonas. Os materiais

citados anteriormente foram adquiridos mediante compra em mercados locais e de outros Estados do Brasil, no caso da resina epóxi e desmoldante.

3.2. Preparação dos materiais

A preparação consistiu em separar as fibras naturais. Foram obtidas amostras de 30g, em média, para cada fibra natural a ser analisada. Contudo, a quantidade de fibras dependerá da aplicação do material final.

3.2.1. Tratamento químico das fibras

O tratamento químico das fibras consiste na utilização de Hidróxido de Sódio (NaOH) em solução de água destilada. As propriedades dos compósitos poliméricos dependem de alguns fatores como adesão fibra-matriz, orientação da fibra, volume da fibra, etc. Para melhorar a adesão fibra-matriz, uma das alternativas é modificar química ou fisicamente as fibras antes da incorporação à matriz polimérica. Tratamentos químicos, tais como o tratamento alcalino com NaOH, os quais removem as impurezas superficiais, induzem a uma superfície rugosa das fibras, melhorando a adesão fibra-matriz e, possivelmente, as propriedades mecânicas do compósito.

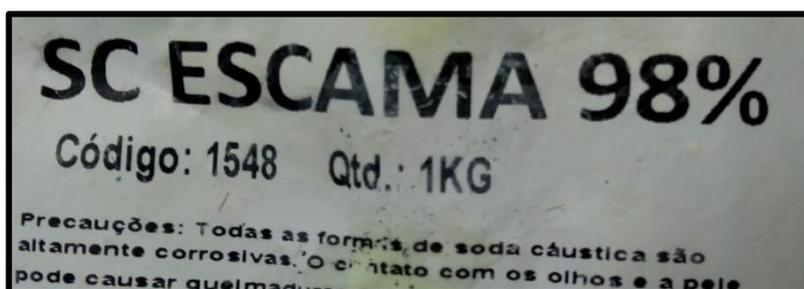


FIGURA 11 – Hidróxido de Sódio em escama – (Fonte: O Autor)

Utilizando-se deste conceito, aplica-se NaOH em água destilada, em quatro béqueres, cada qual com quantidades diferentes deste composto químico. Inicialmente, acrescenta-se 600ml de água destilada em cada béquer, com o fim de controlar a reação da mistura do composto químico com a água. Porém, a quantidade máxima de volume permitida para se chegar ao resultado da quantidade padronizada para cada béquer é de 800ml. O cálculo para se chegar na quantidade de NaOH é descrito desta forma:

$$\text{Quantidade de NaOH(g)} = \text{Percentual de NaOH} \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}} \right) * 100\% \times 800\text{ml} \quad (2)$$

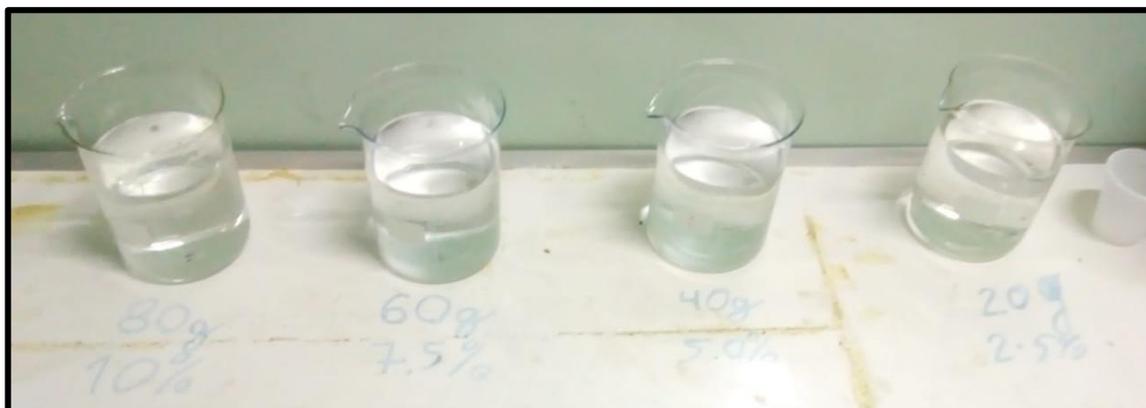


FIGURA 12 – solução NaOH e água destilada – (Fonte: O Autor)

O objetivo do tratamento é retirar a superfície da fibra a fim de obter melhor adesão com a resina epóxi. A superfície da fibra é denominada lignina, que é uma camada de proteção cuja finalidade é “conferir rigidez, impermeabilidade e resistência contra ataques biológicos aos tecidos vegetais” Ao passar pelo tratamento com a solução de Hidróxido de Sódio com água destilada, a fibra natural se torna suscetível a receber agentes externos, neste caso, o material polimérico.

APLICAÇÃO DE NaOH em água destilada					
Percentual de NaOH		Duração do tratamento			
2,50%		2,5h	5h	7,5h	10h
5%					
7,50%					
10%					
Bequer	Percentual de NaOH (g/ml)	Volume (ml)	Quantidade de NaOH (g)		
1	2,50%	800	20		
2	5%		40		
3	7,50%		60		
4	10%		80		

TABELA 1 – Aplicação de NaOH em água destilada– (Fonte: O Autor)

Ao reagir com a água destilada, o Hidróxido de Sódio auxilia no banho das fibras vegetais, causando a perda de coloração original, em razão da perda da lignina. As reações ocorrem conforme os dados das tabelas anteriores, resultando no que se dispõe nas imagens a seguir. Infelizmente não foi possível obter as imagens do estado das fibras enquanto recebiam o banho da solução de água destilada com NaOH.

Os tratamentos abaixo são os realizados durante os tempos de 2,5h e 5h. Segue também a comparação de antes e após o tratamento. Os tempos restantes não foram possíveis a realização. Embora os tempos e porcentagens sejam distintos, visualmente não há diferença. Enquanto se estava executando os trabalhos de tratamento, a fibra de sisal recebeu o tratamento de 2h.



FIGURA 13 – Pesagem das quantidades de NaOH para os tratamentos das fibras – (Fonte: O Autor)



FIGURA 14 – Fibras antes e depois dos tratamentos com NaOH – (Fonte: O Autor)

3.2.2. Fabricação dos corpos de prova

As etapas seguintes decorrem da preparação dos moldes, resina epóxi, inserção das fibras nos moldes, e, finalmente, a aplicação da matriz polimérica, tendo como resultado final um compósito polimérico.

3.2.3. Resina, endurecedor epóxi e removedor de bolhas

A resina epóxi utilizada para a obtenção dos corpos de prova foi a **Redelease® 2004**, juntamente com o endurecedor epóxi 3154. Misturou-se resina com o endurecedor em algum recipiente plástico, nas quantidades descritas na tabela a seguir, e o tempo de reação da mistura foi em média 15 minutos ou até esquentar ou a depender da quantidade. Durante o preparo da resina com endurecedor, também foi adicionado, de 6 gramas a 8 gramas, a depender da quantidade necessária, de quebra-bolhas.

	Quantidade de Epóxi Segundo o tipos de molde (em gramas)	
	Molde de 5 corpos de prova (ensaio de tração)	Molde em forma de placa (ensaios diversos)
Resina Epóxi	60	130
Endurecedor Epóxi	30	65
Quebra-bolhas	6 a 8	6 a 8

TABELA 2 – Quantidade de material matriz para a fabricação dos corpos de prova – (Fonte: O Autor)



FIGURA 15 – Resina Epóxi – (Fonte: O Autor)

3.2.4. Secagem e esterilização das fibras

Pedaços de fibra (aproximadamente 20cm de comprimento) foram levados à câmara de estufa para a esterilização e secagem. Aproximadamente a 100°C e em tempo médio de 25 minutos para o tratamento térmico.

Por um momento a temperatura sobe acima de 100°C, até em média 110°C para o aquecimento e logo em seguida ela retorna à temperaturas acima de 90°C, fazendo assim o equilíbrio entre 90 e 110°C, a depender de como a operação está sendo feita, pois ao abrir a câmara de estufa, a temperatura começa a cair até o patamar de temperatura ambiente.

O equipamento utilizado para a secagem das fibras é o modelo **0317M – 72** da marca **Quimis®**, conforme mostra a imagem a seguir.



FIGURA 16 – Cabine de estufa para a secagem total das fibras antes de serem inseridas nos moldes– (Fonte: O Autor)

3.3. Preparação dos moldes para o recebimento dos materiais

Após as etapas de separação das fibras e secagem, as fibras foram inseridas, dispostas conforme consta nas imagens a seguir. Antes de inserir as fibras e a resina epóxi, os moldes receberam um produto desmoldante para facilitar a retirada do material posto. Antes de preparar os moldes, foram inseridas folhas de papel paraná debaixo do molde, facilitando a retirada dos corpos de prova, proporcionando melhoria na fabricação dos corpos de prova.

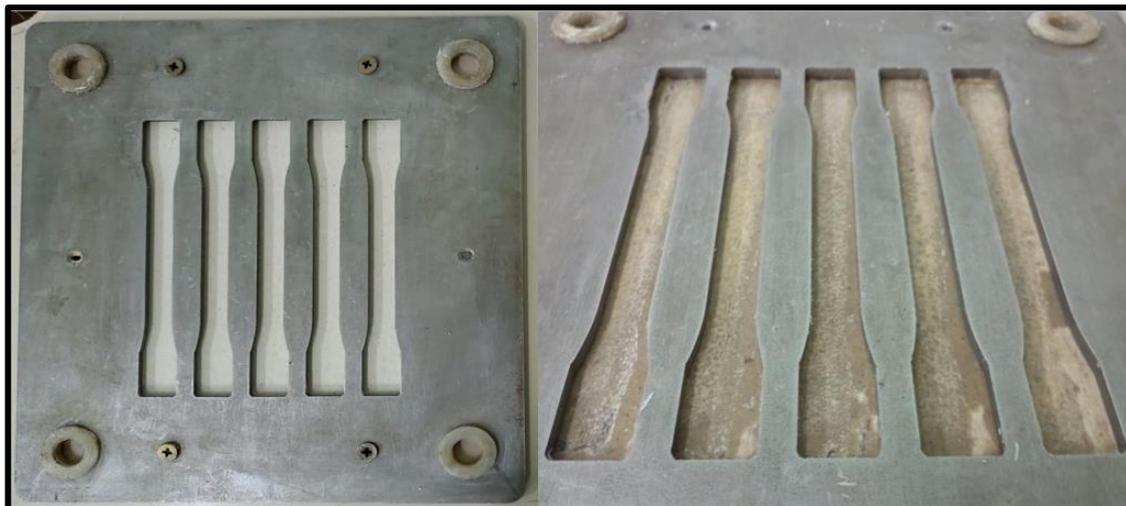


FIGURA 17 – Molde utilizado para a fabricação dos corpos de prova – (Fonte: O Autor)

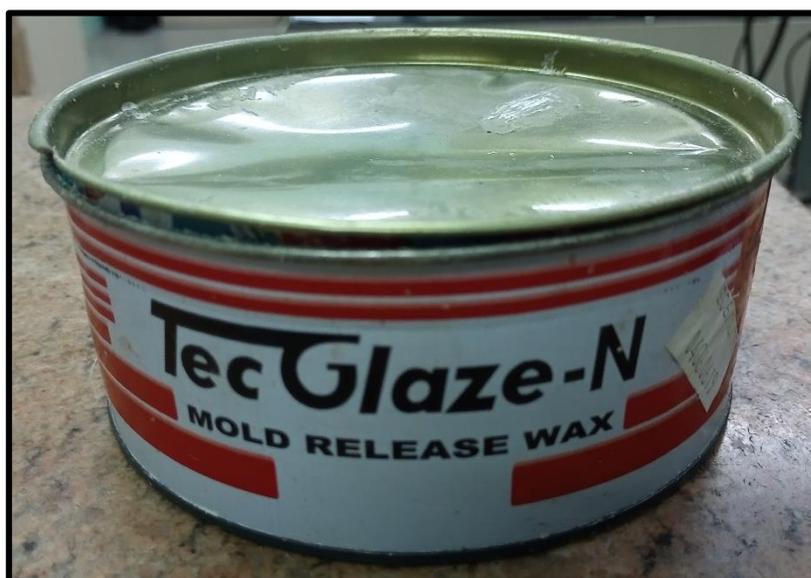


FIGURA 18 – Cera desmoldante – (Fonte: O Autor)

3.4. Fluxograma de fabricação dos corpos de prova

Para uma melhor compreensão dos trabalhos realizados, segue os passos desde a preparação das fibras até o preparo dos materiais para a fabricação dos corpos de prova, de forma simplificada, finalizando, por fim, nos testes de tração, cuja finalidade é comparar as propriedades mecânicas de cada corpo de prova.

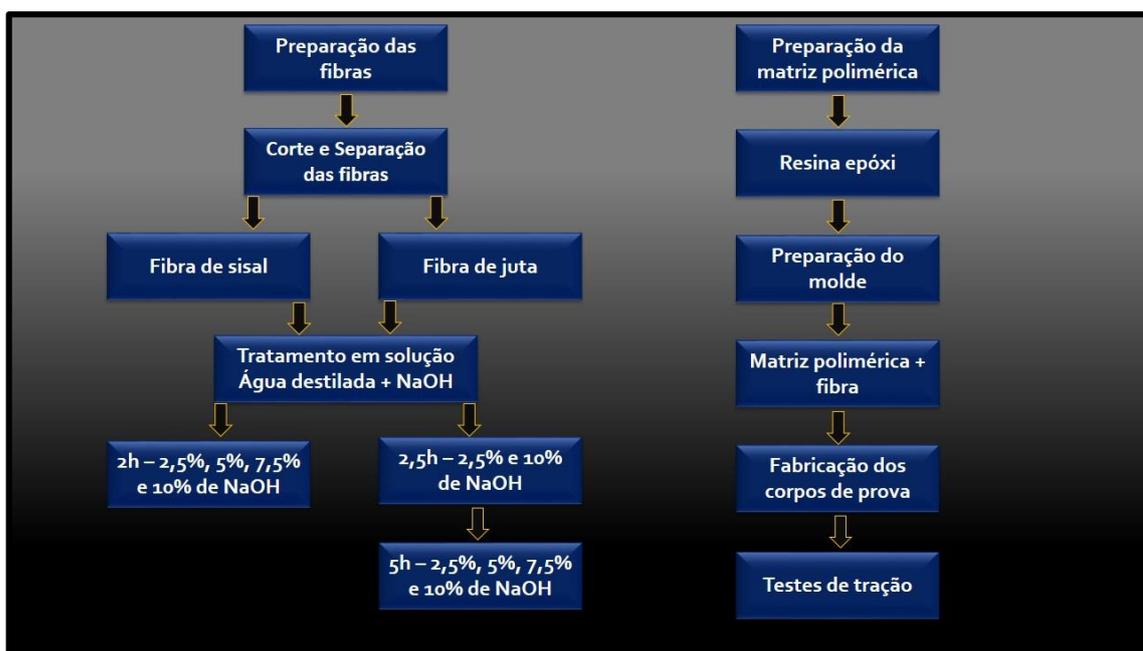


FIGURA 19 – Fluxograma de fabricação dos corpos de prova – (Fonte: O Autor)

3.5. Resultados da fabricação dos corpos de prova

Durante a fabricação dos corpos de prova, notou-se que a maioria apresentou falhas, em razão de diversos fatores, desde a pressa em terminar a tempo os corpos de prova, em razão do tempo curto, até mesmo na falha de operação. Entretanto, isso não impediu a continuidade dos trabalhos, tendo em vista que após a cura total da matriz polimérica, junto com a fibra, o compósito ainda permaneceu com a estrutura suficiente para submeter aos testes de tração.

Em se tratando das fibras, foram utilizadas as que estavam disponíveis já tratadas para a fabricação dos compósitos. Nota-se isso nos quadros a seguir, e embora faltassem fibras a serem ainda tratadas, o estudo ainda continuou, servindo

para o estudo de comparação. Anteriormente o propósito era de apresentar as comparações de todos os estágios de tratamento nos tempos de 2,5h e 5h das fibras de sisal e de juta. No entanto, devido aos contratemplos da pandemia do Coronavírus, ocorrida durante o tempo de atividades envolvendo a prática em laboratório, só foi possível fabricar com as que estavam disponíveis, sendo necessário adaptar os estudos para melhor coletar os dados.

O quadro abaixo, além de mostrar os corpos de prova fabricados, acompanha os pesos, em grama, de cada um, acompanhados das imagens dos mesmos. Há alguns problemas de foco em algumas imagens em relação aos valores mostrados na tela da balança, mas as informações constam em tabela, e as imagens apenas apresentam o resultado da fabricação dos corpos de prova, a fim de que, coletadas as informações, servissem para a obtenção das médias dos pesos, o que pode afetar nas propriedades mecânicas.

Os corpos de prova variaram em razão da quantidade de material que é inserido no molde. As fibras também, entre 0,6 a 0,8 gramas, dado aos fatores externos e em virtude da balança não ter uma precisão adequada.

A quantidade de material diminuiu pelo fato de ter sido inserido um forro de papel paraná por debaixo do molde, haja vista que o mesmo era inserido direto na mesa, e foi descoberto que havia um espaço de 1mm que modificava, para mais, a quantidade de resina, o que gerou essa diferença. O forro de papel paraná auxiliou na preservação do material, além da economia de resina epóxi, diminuindo, assim, a quantidade e facilitando a retirada dos corpos de prova.

Para a fibra de juta, alguns tratamentos referentes a 2,5h não foram possíveis serem obtidos em razão da falta de material no momento em que estavam sendo fabricados os corpos de prova, contudo os que já estava disponíveis serviram de estudo para a comparação das propriedades mecânicas, com o fim de estudar o comportamento das fibras em relação ao tempo e o percentual de NaOH, a fim de analisar o impacto nas fibras.

O mesmo se aplica à fibra de sisal, tendo em vista que durante a fabricação, só estavam disponíveis com tratamento de 2h, porém isso não impediu a continuidade dos trabalhos, por se tratar de estudo de comparação, visando as características que a fibra de sisal possa apresentar.

3.5.1. Compósito de sisal – 2h de tratamento

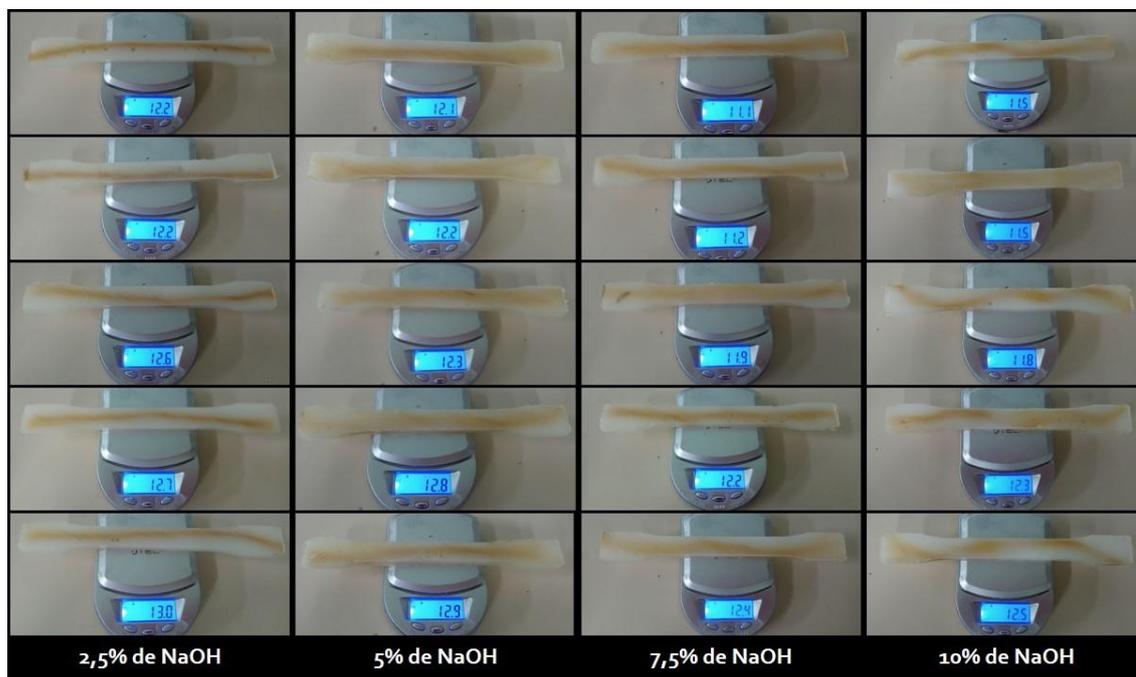


FIGURA 20 – Compósito de fibra de sisal, 2h – (Fonte: O Autor)

3.5.2. Compósito de juta – 2,5h de tratamento

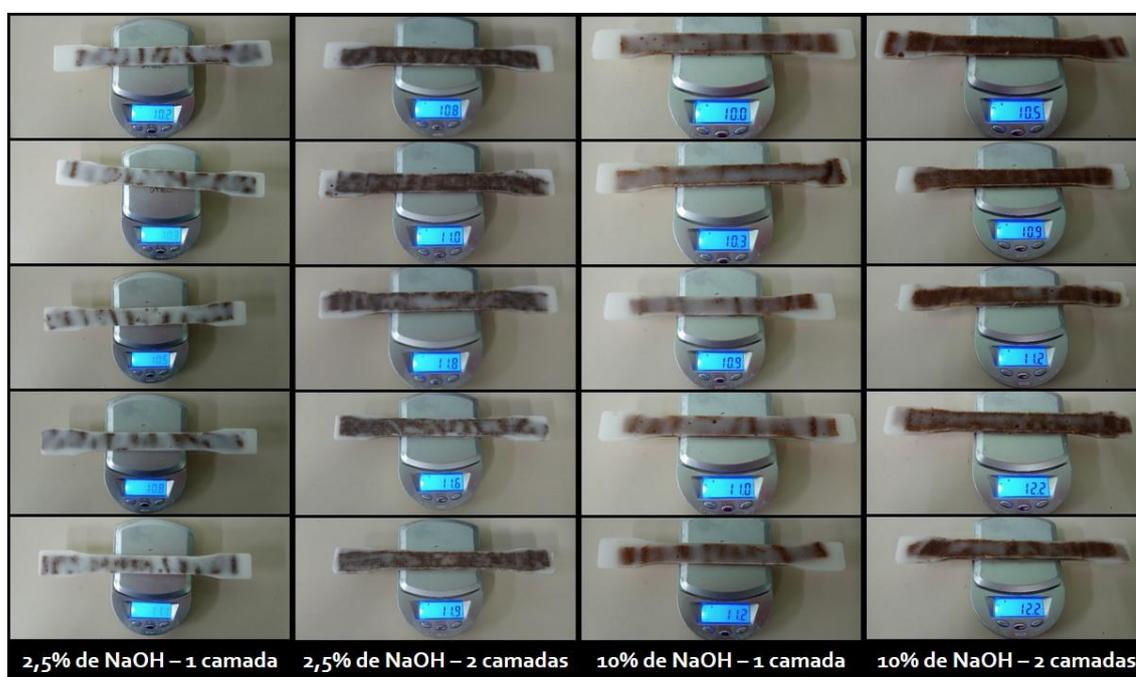


FIGURA 21 – Compósito de fibra de juta, 2,5h – (Fonte: O Autor)

3.5.3. Compósito de juta – 5h de tratamento – 1 camada

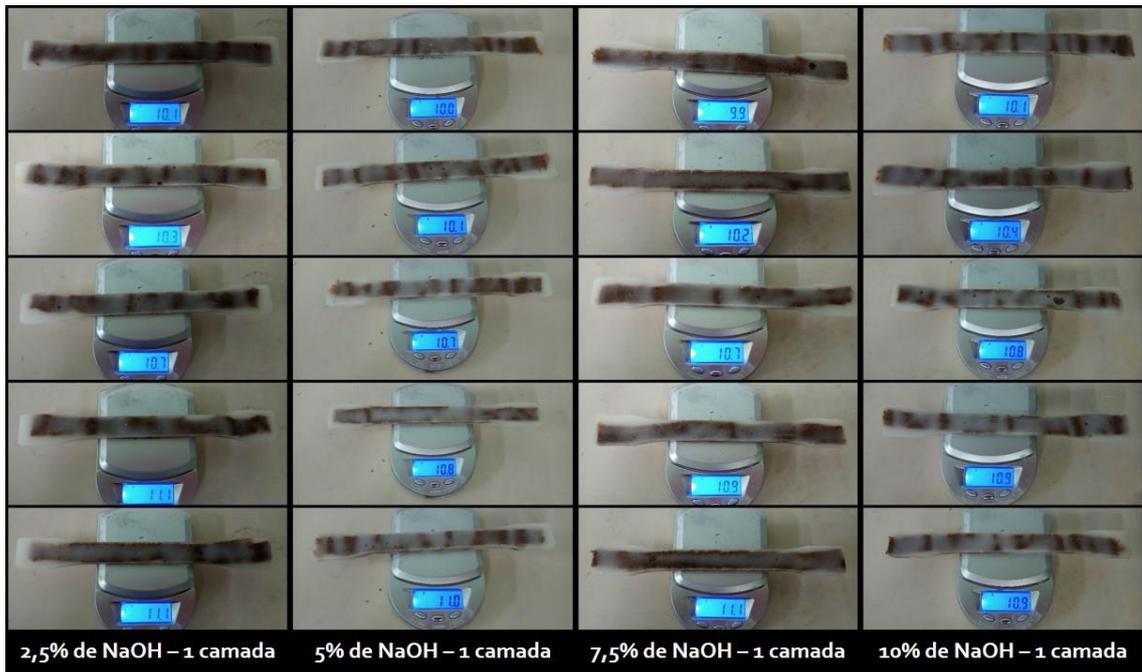


FIGURA 22 – Compósito de fibra de juta, 5h, 1 camada – (Fonte: O Autor)

3.5.4. Compósito de juta – 5h de tratamento – 2 camadas

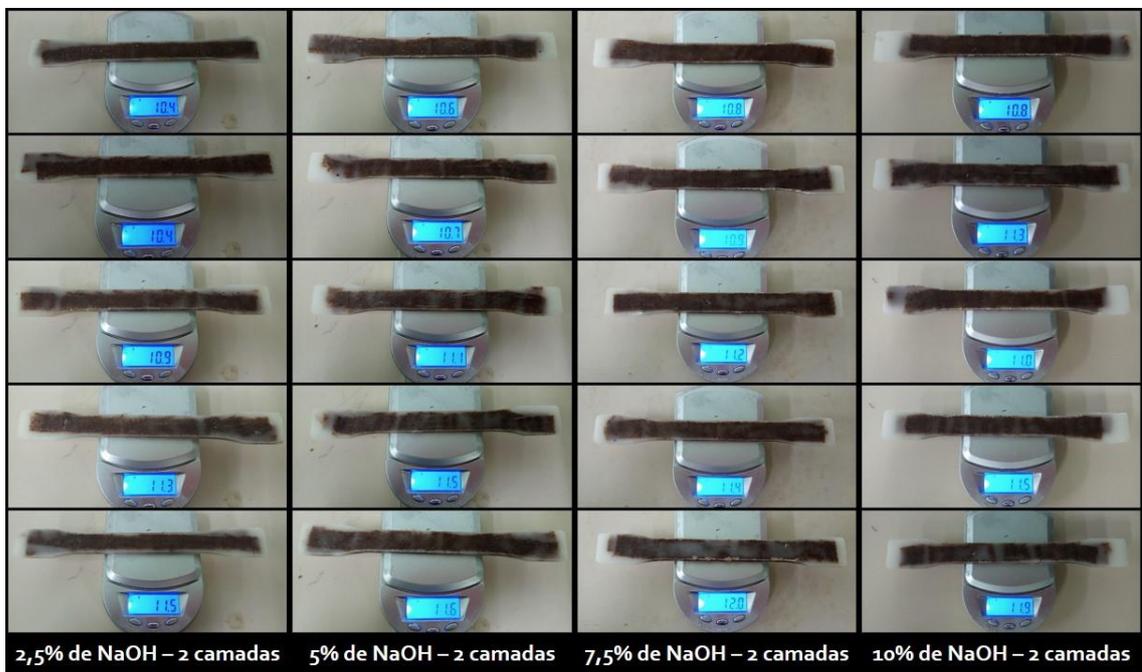


FIGURA 23 – Compósito de fibra de juta, 5h, 2 camadas – (Fonte: O Autor)

Sisal - 2h de Tratamento			
2,5%	5,0%	7,5%	10,0%
12,2	12,1	11,1	11,5
12,2	12,2	11,2	11,5
12,6	12,3	11,9	11,8
12,7	12,8	12,2	12,3
13,0	12,9	12,4	12,5
Juta - 2,5h de Tratamento			
2,5% (1 camada)	2,5% (2 camadas)	10% (1 camada)	10% (2 camadas)
10,2	10,8	10	10,5
10,3	11,0	10,3	10,9
10,5	11,6	10,9	11,2
10,8	11,8	11	12,2
11,1	11,9	11,2	12,2
Juta (1 camada) - 5h de Tratamento			
2,5%	5,0%	7,5%	10,0%
10,1	10,0	9,9	10,1
10,3	10,1	10,2	10,4
10,7	10,7	10,7	10,8
11,1	10,8	10,9	10,9
11,1	11,0	11,1	10,9
Juta (2 camadas) - 5h de Tratamento			
2,5%	5,0%	7,5%	10,0%
10,4	10,6	10,8	10,8
10,4	10,7	10,9	11,0
10,9	11,1	11,2	11,3
11,3	11,5	11,4	11,5
11,5	11,6	12,0	11,9

TABELA 3 – Pesos dos corpos de prova, em gramas – (Fonte: O Autor)

Devido à falta de tempo para utilizar os valores acima para os cálculos de densidade dos materiais acima listados, como parte da análise comparativa dos compósitos com fibra de sisal e de juta, não foi possível realizar o levantamento de dados para os mesmos, sendo isso um dos fatores para as próximas pesquisas envolvendo os pesos dos corpos de prova, tendo em vista suas propriedades mecânicas.

3.6. Ensaio de tração

Após a fabricação dos corpos de prova, devidamente identificados com numeração padrão, foram submetidos ao ensaio de tração, cuja velocidade de ensaio foi determinada como padrão para todos os corpos de prova, de 10mm/min.

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma força de tração axial num corpo de prova padronizado, promovendo a deformação do material na direção do esforço, que tende a alongá-lo até fraturar. Devido à facilidade de execução e reprodutibilidade dos resultados, este ensaio é amplamente utilizado. Com ele é possível determinar o gráfico de Tensão Deformação e medir as propriedades de Resistência à Tração, Módulo de Elasticidade, Tensão no Escoamento, Tensão na Ruptura, Deformação no Escoamento, Deformação na Ruptura, etc. (BIOPDI, et al; 2023). A tensão é expressa em Mpa, ou em N/(mm²).

O ensaio de tração determinou as propriedades mecânicas necessárias para o estudo comparativo entre os corpos de prova. Para isso, foi necessário obter as dimensões da área útil dos corpos de prova, as quais variaram bastante, em decorrência de fatores externos, bem como apresentaram várias falhas, o que não foi impedimento para a obtenção dos resultados. Havia corpos de prova com espessura de 4mm, outros com 3mm, aproximadamente, por exemplo. Assim para as demais medidas, visto que os corpos de prova não são uniformes. Por convenção de cálculos, optou-se por padronizar os valores, obtendo-se um valor médio para todas as dimensões.

Por aproximação, foi obtida a seguinte tabela:

Dimensões dos corpos de prova (em milímetros)	
Espessura	3,5
Largura	14,0
Comprimento	80,0
Velocidade de ensaio (em mm/min)	
10 mm/min	

TABELA 4 – Dimensões dos corpos de prova e velocidade de ensaio – (Fonte: O Autor)

Os valores médios foram obtidos pelo fato de os corpos de prova apresentarem diferenças de tamanhos. Como as dimensões não variaram em muita extensão, foi convencionado o resultado dos valores médios e adotado para todos os corpos de prova, a fim de facilitar os cálculos finais em relação às propriedades mecânicas.

O Ensaio de Tração fornece dados quantitativos que permitirão cálculos matemáticos para a determinação de parâmetros importantes de modo que os profissionais que trabalham na área de materiais possam decidir quanto à utilização de um material específico para determinado fim. (BIOPDI, et al; 2023)

Nos últimos séculos, não havia um controle regulado de qualidade dos produtos acabados porque a construção dos objetos era basicamente feita à mão. Avaliava-se a qualidade por meio do uso. Atualmente, pode-se entender que o controle de qualidade deve começar com as matérias-primas e deve ser realizado em todo o processo de produção, incluindo a inspeção e o teste final dos produtos acabados. O ensaio mecânico de materiais é o procedimento padronizado utilizado para isto, contando com cálculos, gráficos e consulta de tabelas, todos obedecendo as respectivas normas técnicas. (BIOPDI, et al; 2023)

Realizar um ensaio consiste em submeter um objeto já fabricado ou um material que vai ser processado industrialmente a situações que simulam os esforços que eles vão sofrer nas condições reais de uso, atingindo limites extremos de solicitação. (BIOPDI, et al; 2023)

O ensaio de tração consiste em um gráfico no qual apresenta o comportamento do material submetido a uma determinada velocidade de tração. O exemplo do gráfico a ser demonstrado é tal qual o descrito na imagem seguinte, para efeitos de comparação:

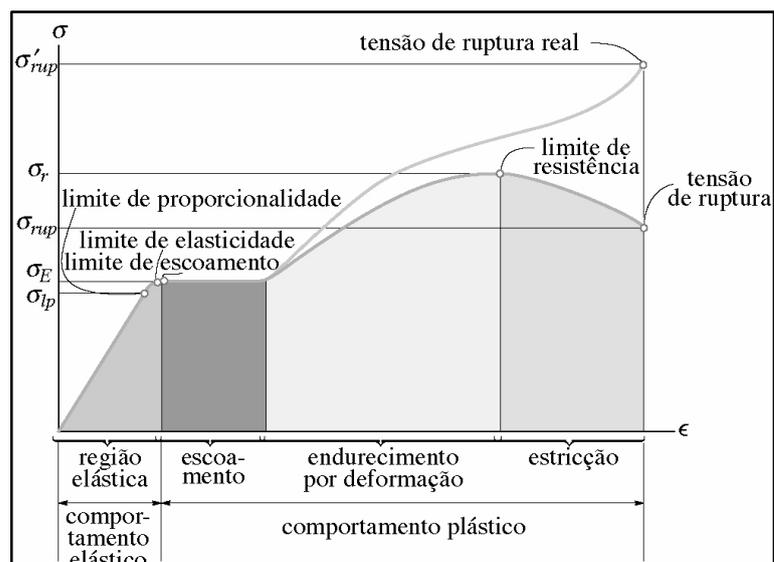


FIGURA 24 – Diagrama Tensão-Deformação – (Fonte: HIBBELER, 2009)

3.6.1. Cálculo da tensão, deformação e módulo de elasticidade

Para fins estatísticos e de comparação das propriedades mecânicas dos corpos de prova, foram considerados apenas os cálculos que correspondem à tensão e à deformação dos compósitos que foram submetidos a teste, seguindo o que consta na norma ASTM D638.

A deformação consiste na variação, em percentual, do deslocamento das partes de um corpo de prova submetido ao ensaio mecânico. Para o estudo em questão, o ensaio de tração. A deformação se dá ao “esticar” o material, isso é, duas forças opostas, de mesma intensidade, sendo aplicadas em um corpo, causando a ruptura a uma determinada carga aplicada. A deformação é descrita através de equação apresentada a seguir.

$$\varepsilon(\%) = \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right) * 100 \quad (3)$$

A Área Útil de Tensão corresponde à área seccional do corpo de prova, que corresponde à área transversal, a que indica o tipo de corpo de prova, podendo ter a seção circular ou retangular. A área em destaque é de seção retangular.

$$\text{Área Útil de Tensão} = \text{Espessura} * \text{Largura} \quad (4)$$

A Tensão de um corpo de prova é medida em Mega Pascais (MPa), e é obtida através da carga a que o material é submetido, levando em consideração a área da seção transversal que é o formato do próprio corpo de prova, media na área útil, a qual sofre o impacto de tração provocado pela máquina de ensaios.

$$\sigma = \frac{P}{\text{Área Útil}} \quad (5)$$

Além de calcular a tensão e deformação, propriedades essas importantes para a compreensão do comportamento do material analisado, conjuga-se as equações de tensão e de deformação, a fim de calcular o Módulo de Elasticidade. O módulo de elasticidade é definido na região elástica do diagrama Tensão – Deformação. Para efeitos de cálculos realizados para este trabalho, a fim de facilitar a compreensão, foi considerada a região de escoamento, pois os valores provenientes da região compreendendo a zona elástica e a zona de escoamento se apresentavam próximos, o que facilitou na coleta dos dados obtidos para fins de comparação das propriedades mecânicas dos materiais compósitos. A fórmula foi simplificada, tendo em vista que envolvem outros parâmetros de análise para os dados. Não foi possível, no momento da coleta dos dados, o cálculo envolvendo o coeficiente de Poisson, o qual servirá de parâmetro para as próximas pesquisas. Portanto, o Módulo de elasticidade é descrito pela equação seguinte, tendo em vista o que foi relatado, a qual é medida em Giga Pascais (GPa).

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (6)$$

3.6.2. Norma ASTM d638

Ao analisar os dados coletados pela máquina universal de ensaios, utiliza-se as normas inerentes aos cálculos de propriedades mecânicas, para fins de compor um quadro comparativo entre os materiais testados. Ao todo, foram 48 corpos de prova, o que atendeu às exigências da norma, bem como a velocidade de teste, que foi adotada em 10 mm/min, para facilitar a coleta dos valores.

A ASTM D638 é uma das normas mais importantes e pode ser aplicada tanto para materiais não reforçados como reforçados, com espessura desde 1 até 14 mm, empregando corpos de prova padronizados na forma de borboleta (ou gravata). As condições ambientais de temperatura, umidade e de velocidade de ensaio devem ser controladas. O número de amostragem recomendado é de 10.

A velocidade de aplicação da carga ou velocidade de ensaio, é dada pelo deslocamento da garra móvel em mm/min. e é estimada de acordo com o tipo de material, variando entre 5-500 (mm/min.).

A taxa de deformação é escolhida em função da rigidez do material, sendo utilizada uma taxa baixa para materiais frágeis (rígidos) e uma taxa elevada para materiais dúcteis (não rígidos). Um critério geral para determinar a taxa a ser utilizada, é selecionar a menor velocidade capaz de produzir a ruptura do corpo de prova entre 0,5 e 5 min.

Previamente ao ensaio, as amostras devem ser condicionadas em ambiente com umidade e temperatura controlado, pois o material sofre variações térmicas, as quais não foram consideradas para este fim, por se tratar de um outro tema em específico a respeito do comportamento dos materiais em variações de temperatura, o que também afeta nas propriedades mecânicas.

3.6.3. Preparação dos corpos de prova para os testes de tração

Os corpos de prova foram testados em uma máquina universal de ensaios, conforme imagem a seguir. Antes de serem testados, os corpos de prova foram catalogados com números cardinais, seguindo a ordem desde os reforçados com fibra de sisal, seguindo com os de juta. De início foram fabricados 80, sendo 20 reforçados com fibra de sisal, e mais 60 reforçados com fibra de juta, o que totalizam 80 corpos de prova. Devido ao tempo limitado para conseguir coletar os dados, foram reduzidos para 48.

O número de amostras utilizada para o estudo comparativo entre os corpos de prova foi de 48, sendo 12 fabricados com fibra de sisal e 36 com fibra de juta, variando estes com 1 (uma) camada e 2 (duas) camadas, por se tratar de um tecido. A velocidade adotada para o ensaio foi de 10 mm/min.



FIGURA 25 – Máquina universal de ensaios – (Fonte: O Autor)



FIGURA 26 – Corpos de prova organizados segundo seu percentual de tratamento e tempo – (Fonte: O Autor)

4. INFERÊNCIAS GRÁFICAS

Após os testes dos corpos de prova, foram considerados os valores de carga máxima, que são os valores encontrados no limite de resistência máxima de tração, o que ajudou, também, na coleta dos dados de tração máxima, seguidos dos deslocamentos e, por fim, a deformação plástica. Foram desconsiderados, para fins de facilitar os cálculos finais, para efeito de comparação entre os valores encontrados, os erros decorrentes da execução dos testes de tração. Também foram considerados os tempos máximo e de operação da máquina, tendo em vista que, durante o tempo em que os corpos de prova foram submetidos, alguns tiveram um período de tempo mais alongado, o que se supõe que os determinados corpos de prova resistiram por mais tempo às cargas aplicadas. Nas próximas páginas, seguem as informações, utilizando-se da ferramenta Excel, para fins de compor os valores médios e finais obtidos durante o ensaio de tração.

4.1. Quadros comparativos de carga máxima, tempo, deslocamento, tensão e deformação dos corpos de prova

4.1.1. Compósito de sisal – 2h de tratamento – valores coletados

	Compósito de Sisal - 2h				Compósito de Sisal - 2h	
	CARGA MÁXIMA (Newton)	TEMPO DE CARGA MÁXIMA (Segundos)	DESLOCAMENTO (mm)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Segundos)	TENSÃO (Mpa)	DEFORMAÇÃO (%)
		2,5% de NaOH			2,5% de NaOH	
1	1840,03	26,40	6,86	27,76	1	37,55
2	1803,45	28,20	7,04	32,19	2	36,81
3	2049,25	23,40	5,83	23,87	3	41,82
		5,0% de NaOH			5,0% de NaOH	
4	1690,13	23,30	5,81	30,52	4	34,49
5	1440,82	22,80	5,68	31,80	5	29,40
6	1322,27	23,80	5,94	31,32	6	26,99
		7,5% de NaOH			7,5% de NaOH	
7	1461,15	26,90	6,71	35,20	7	29,82
8	1368,56	22,00	5,48	26,10	8	27,93
9	1163,81	21,00	5,23	29,62	9	23,75
		10,0% de NaOH			10,0% de NaOH	
10	1102,87	21,80	5,43	31,35	10	22,51
11	1180,92	27,20	6,79	35,32	11	24,10
12	1185,07	22,60	5,63	31,00	12	24,19

TABELA 5 – Compósito de sisal, 2h de tratamento – (Fonte: O Autor)

4.1.2. Compósito de sisal – 2h de tratamento – Carga e Tensão – inferência gráfica

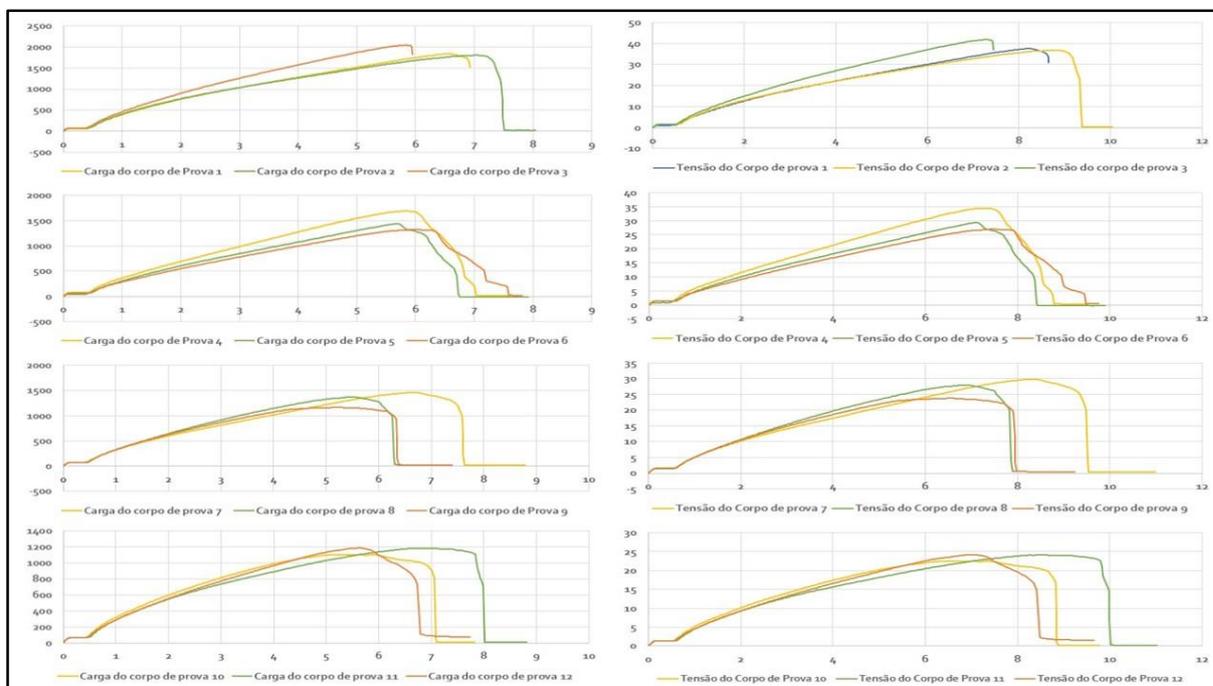


GRÁFICO 1 – Carga e Tensão dos corpos de prova com fibra de sisal – (Fonte: O Autor)

4.1.3. Compósito de juta – 2,5h de tratamento – valores coletados

Compósito de Juta - 2,5h				Compósito de Juta - 2,5h		
	CARGA MÁXIMA (Newton)	TEMPO DE CARGA MÁXIMA (Segundos)	DESLOCAMENTO (mm)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Segundos)	TENSÃO (Mpa)	DEFORMAÇÃO (%)
2,5% de NaOH - 1 Camada						
13	588,37	66,80	16,69	72,25	12,01	20,86
14	577,30	55,00	13,74	59,35	11,78	17,18
15	584,71	59,60	14,89	64,66	11,93	18,61
2,5% de NaOH - 2 Camadas						
16	721,73	56,30	14,06	61,77	14,73	17,58
17	722,60	29,70	7,41	34,62	14,75	9,26
18	912,08	35,20	8,79	38,74	18,61	10,98
10% de NaOH - 1 Camada						
19	454,51	59,80	14,93	68,50	9,28	18,67
20	629,21	89,60	22,38	95,52	12,84	27,98
21	437,35	88,20	22,04	96,80	8,93	27,55
10% de NaOH - 2 Camadas						
22	454,11	34,70	8,65	43,02	9,27	10,82
23	547,15	130,30	32,56	135,37	11,17	40,70
24	726,65	89,00	22,23	93,95	14,83	27,79

TABELA 6 – Compósito de juta, 2,5h de tratamento – (Fonte: O Autor)

4.1.4. Compósito de juta – 2,5h de tratamento - Carga e Tensão – inferência gráfica

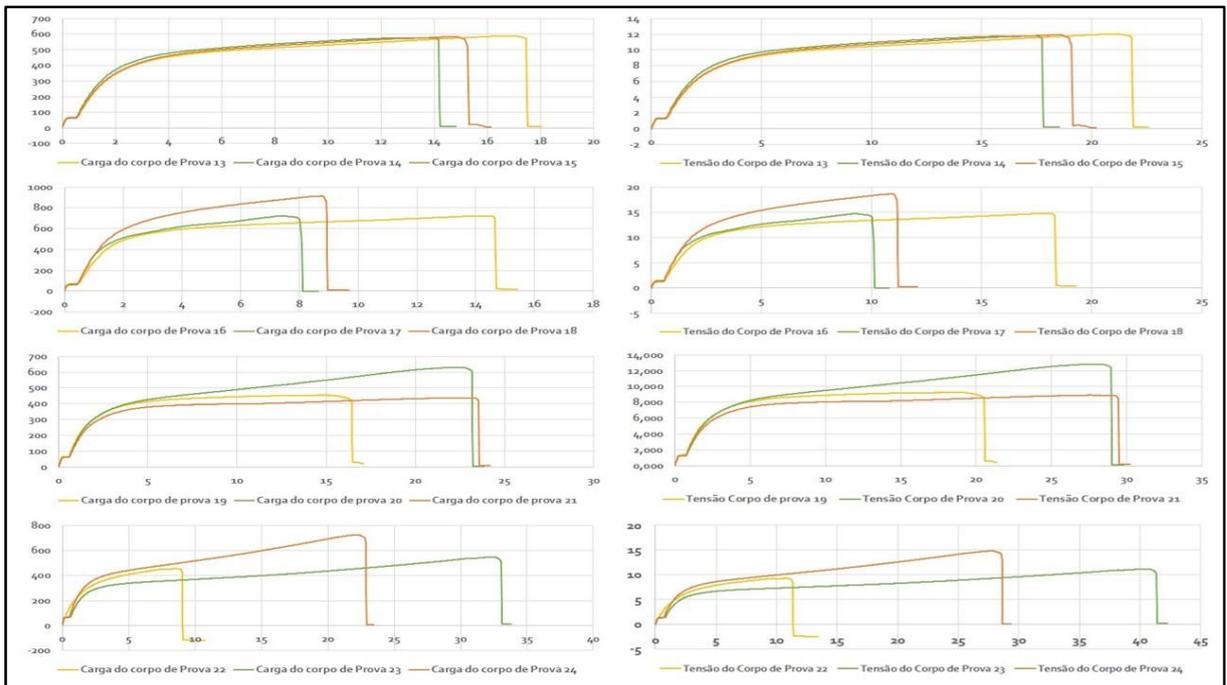


GRÁFICO 2 – Carga e Tensão dos corpos de prova com fibra de juta, 2,5h – (Fonte: O Autor)

4.1.5. Compósito de juta – 5h de tratamento – 1 camada – valores coletados

Compósito de Juta - 5h - 1 camada					Compósito de Juta - 5h		
	CARGA MÁXIMA (Newton)	TEMPO DE CARGA MÁXIMA (Segundos)	DESLOCAMENTO (mm)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Segundos)		TENSÃO (Mpa)	DEFORMAÇÃO (%)
		2,5% de NaOH - 1 Camada			25	13,77	20,62
25	674,55	59,60	16,50	66,06	26	14,26	22,14
26	698,57	70,90	17,71	85,78	27	16,17	17,36
27	792,12	55,60	13,89	61,00		5,0% de NaOH - 1 Camada	
		5,0% de NaOH - 1 Camada			28	14,56	11,70
28	713,65	37,50	9,36	44,53	29	13,13	19,89
29	643,15	63,70	15,91	73,21	30	11,56	10,93
30	566,35	35,00	8,74	40,15		7,5% de NaOH - 1 Camada	
		7,5% de NaOH - 1 Camada			31	13,30	21,04
31	651,65	67,40	16,83	71,97	32	11,15	13,51
32	546,57	43,30	10,81	48,91	33	13,24	21,64
33	648,87	69,30	17,31	78,32		10% de NaOH - 1 Camada	
		10,0% de NaOH - 1 Camada			34	12,52	11,79
34	613,67	37,80	9,43	48,45	35	11,24	15,48
35	550,92	49,60	12,39	60,53	36	11,37	12,08
36	556,89	38,70	9,66	46,76			

TABELA 7 – Compósito de juta, 5h de tratamento, 1 camada – (Fonte: O Autor)

4.1.6. Compósito de juta – 5h de tratamento – 1 camada – Carga e Tensão – inferência gráfica

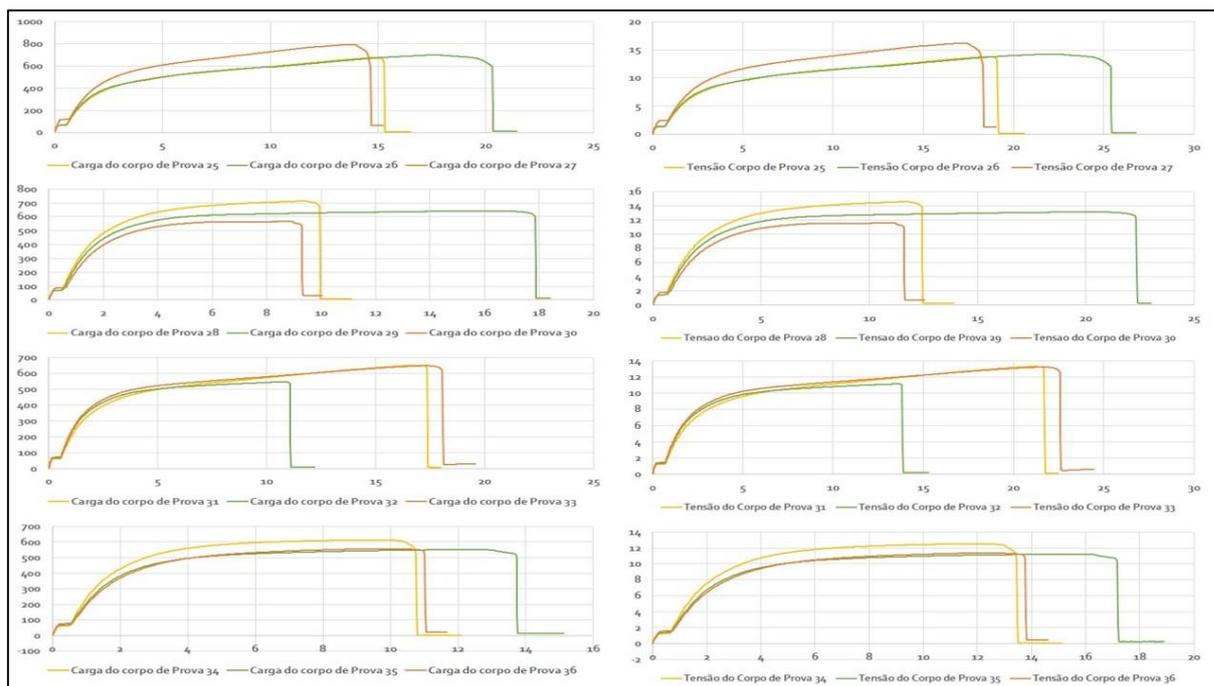


GRÁFICO 3 – Carga e Tensão dos corpos de prova com fibra de juta, 5h, 1 camada – (Fonte: O Autor)

4.1.7. Compósito de juta – 5h de tratamento – 2 camadas – valores coletados

Compósito de juta - 5h - 2 camadas					Compósito de Juta - 5h	
CARGA MÁXIMA (Newton)	TEMPO DE CARGA MÁXIMA (Segundos)	DESLOCAMENTO (mm)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Segundos)	TENSÃO (Mpa)	DEFORMAÇÃO (%)	
				2,5% de NaOH - 2 Camadas		
37	791,84	32	7,98	37	16,16	
38	998,62	32,6	8,13	38	20,38	
39	759,99	31,5	7,86	39	15,51	
				5,0% de NaOH - 2 Camadas		
40	722,75	60,3	15,06	40	14,75	
41	619,85	55	13,73	41	12,65	
42	699,72	44,8	11,19	42	14,28	
				7,5% de NaOH - 2 Camadas		
43	717,85	129,6	10,79	43	14,65	
44	885,43	41,7	10,41	44	18,07	
45	788,9	41,6	10,39	45	16,10	
				10,0% de NaOH - 2 Camadas		
46	568,4	25,3	6,31	46	11,60	
47	764,4	19,5	4,86	47	15,60	
48	856,03	33,7	8,41	48	17,47	

TABELA 8 – Compósito de juta, 5h de tratamento, 2 camadas – (Fonte: O Autor)

4.1.8. Compósito de juta - 5h de tratamento – 2 camadas – carga e tensão – inferências gráficas

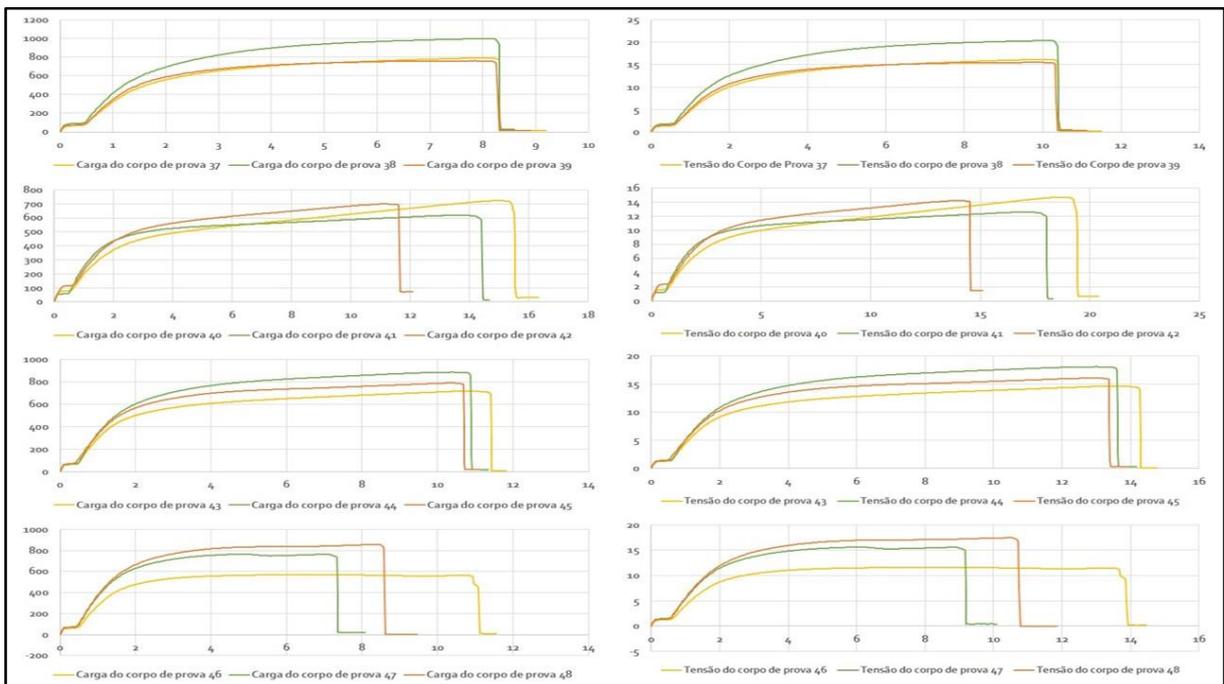


GRÁFICO 4 – Carga e deslocamento dos corpos de prova com fibra de sisal, 5h, 2 camadas – (Fonte: O Autor)

4.2. Corpos de prova após os testes de tração

Após os testes serem realizados, reunindo as informações necessárias para que se realize a comparação das propriedades mecânicas dos corpos de prova, foram feitas as coletas dos materiais destruídos, com vistas à observação do estado em que se apresentaram após os ensaios. As imagens abaixo mostram os corpos de prova no estado final, após serem submetidos à carga exercida pela máquina universal de ensaios.



FIGURA 27 – Compósitos de sisal, 2h de tratamento, após os testes de tração – (Fonte: O Autor)

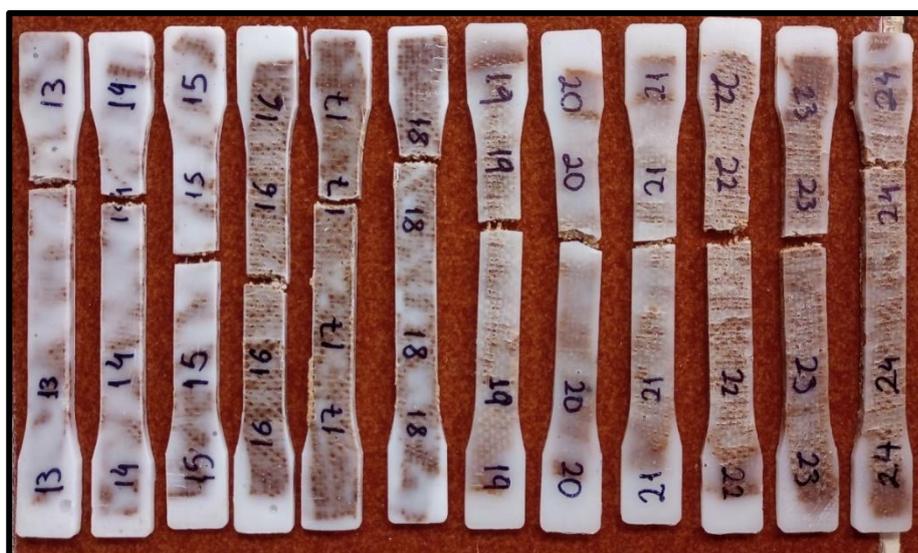


FIGURA 28 – Compósitos de juta, 2,5h de tratamento, após os testes de tração – (Fonte: O Autor)

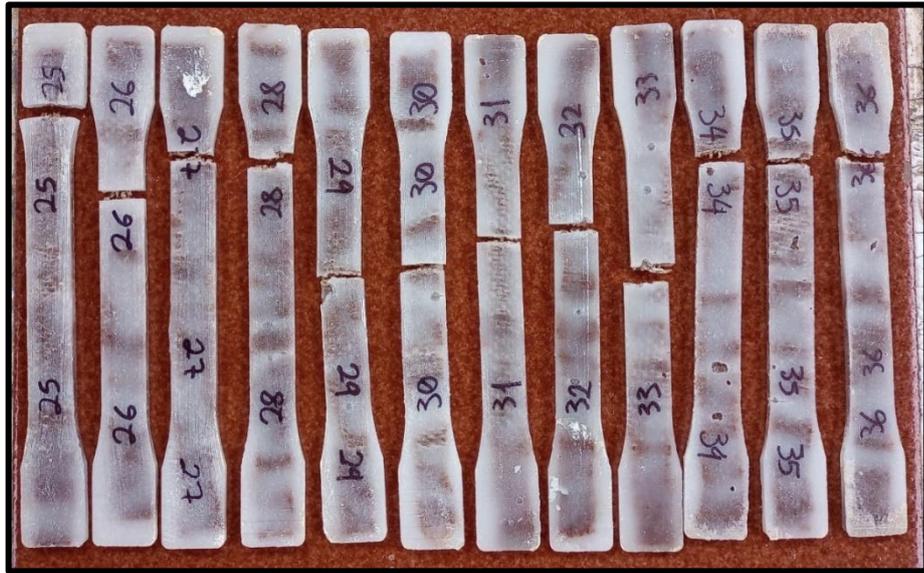


FIGURA 29 – Compósitos de juta, 5h de tratamento, 1 camada, após os testes de tração – (Fonte: O Autor)

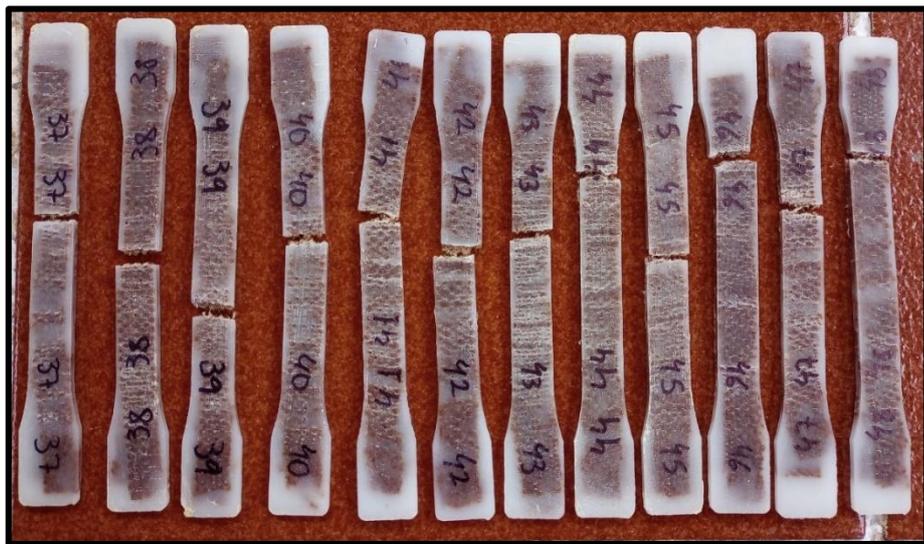


FIGURA 30 – Compósitos de juta, 5h de tratamento, 2 camadas, após os testes de tração – (Fonte: O Autor)

5. INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS

Com os dados coletados, durante a realização dos cálculos, percebeu-se que não havia diferenças ao separar, por subgrupos, os dados apresentados. Por convenção, foram estabelecidas as equações referentes à população, tendo em vista que os valores apresentados para a montagem das tabelas estavam bem próximos aos valores calculados para uma população.

Estatística, segundo a literatura, é a ciência que apresenta processos próprios para coletar, apresentar e interpretar adequadamente conjuntos de dados, sejam eles numéricos ou não. Pode-se dizer que seu objetivo é o de apresentar informações sobre dados em análise para que se tenha maior compreensão dos fatos que os mesmos representam. (GUEDES; ARCOSI; MARTINS; JANEIRO, 2005)

Além disso, trabalha-se com tipos de variáveis, que podem ser quantitativas ou qualitativas. Todas as variáveis podem ser resumidas em tabelas, podendo ser uma tabela simples ou com todas as variáveis possíveis para um espaço amostral ou populacional.

Além de facilitar a coleta dos dados para fins estatísticos, usa-se também uma ferramenta bastante eficiente e que simplifica todo o contexto de pesquisa. Esta ferramenta se chama gráfico. O gráfico ajuda a entender o comportamento de uma determinada amostra, como também auxilia no resumo de um espaço amostral. Embora os gráficos forneçam menor grau de detalhes que as tabelas, estes apresentam um ganho na compreensão global dos dados, permitindo que se aperceba imediatamente da sua forma geral sem deixar de evidenciar alguns aspectos particulares que sejam de interesse do pesquisador.

Para fins de cálculos estatísticos, foram utilizadas as fórmulas seguintes para obter os valores tabelados a seguir, tendo em vista os valores das cargas máximas, tensão, deformação e módulo de elasticidade. Os cálculos foram realizados para 12 corpos de prova com fibra de sisal e 36 corpos de prova com fibra de juta, e cada grupo teve seus dados coletados e registrados em tabelas e gráficos, considerando a

importância das frequências relativas, as quais englobam o número de indivíduos dentro de um espaço amostral.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * f_i}{n} \quad (8)$$

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{X}| * f_i}{n} \quad (9)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 * f_i}{n} \quad (10)$$

$$CV(\%) = \left(\frac{\sigma}{\bar{X}} \right) * 100 \quad (11)$$

Foram considerados, para efeitos de cálculos, que as amostras fossem como uma população. O motivo está pelo fato dos valores relacionados à amostra serem muito próximos aos valores considerados para os cálculos estatísticos envolvendo todos os indivíduos. Considerando o fato evidente, e não tendo problemas nos resultados finais, foram utilizadas as equações da estatística no âmbito geral. As diferenças entre os valores coletados tiveram pouca variação, observando os dados apresentados em tabelas anteriores das propriedades mecânicas envolvendo as cargas e tensões. Os valores coletados foram das cargas máximas, tensões máximas, deformação na tensão máxima e o módulo de elasticidade, envolvendo neste as médias coletadas dentro de uma faixa de valores compreendo as tensões e deformações desde o limite da zona elástica e entrando na zona elástica, que é a zona de escoamento, conforme dita a ilustração do diagrama tensão-deformação.

5.1. Inferências estatísticas dos compósitos de sisal

CARGA MÁXIMA – COMPÓSITO DE SISAL							
CARGA (N)		x	Frequência	F%	Acumulado	A%	Média Por Frequência
1102,87	1372,87	1237,873	6	50,00	6	50,00	7427,238
1372,87	1642,87	1507,873	3	25,00	9	75,00	4523,619
1642,87	1912,87	1777,873	2	16,67	11	91,67	3555,746
1912,87	2182,87	2047,873	1	8,33	12	100,00	2047,873
TOTAL E MÉDIA		1642,873	12	100,00			1462,873
TENSÃO (LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO) – COMPÓSITO DE SISAL							
TENSÃO (Mpa)		x	Frequência	F%	Acumulado	A%	Média Por Frequência
22,51	28,01	25,26	6	50,00	6	50,00	151,55
28,01	33,51	30,76	2	16,67	8	66,67	61,52
33,51	39,01	36,26	3	25,00	11	91,67	108,77
39,01	44,51	41,76	1	8,33	12	100,00	41,76
TOTAL E MÉDIA		33,51	12	100,00			30,30
DEFORMAÇÃO PLÁSTICA – COMPÓSITO SISAL							
DEFORMAÇÃO (%)		x	Frequência	F%	Acumulado	A%	Média Por Frequência
6,54	7,19	6,87	5	41,67	5	41,67	34,33
7,19	7,84	7,52	3	25,00	8	66,67	22,56
7,84	8,50	8,17	2	16,67	10	83,33	16,34
8,50	9,15	8,82	2	16,67	12	100,00	17,65
TOTAL E MÉDIA		7,84	12	100			7,57
MÓDULO DE ELASTICIDADE - COMPÓSITO DE SISAL							
MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)		x	Frequência	F%	Acumulado	A%	Média Por frequência
3,04	3,56	3,3	3	25,0	3	25,0	9,9
3,56	4,08	3,82	3	25,0	6	50,0	11,46
4,08	4,6	4,34	4	33,3	10	83,3	17,36
4,6	5,12	4,86	2	16,7	12	100,0	9,72
TOTAL E MÉDIA		4,08	12	100,0			4,04

TABELA 9 – Propriedades Mecânicas dos corpos de prova com fibra de sisal – (Fonte: O Autor)

CARGA MÁXIMA		TENSÃO (LIMITE MÁXIMO DE RESISTÊNCIA)	
Desvio Médio	292,5	Desvio Médio	5,96
Desvio Padrão	321,4	Desvio Padrão	6,55
Coefficiente de Variação(%)	19,56	Coefficiente de variação (%)	19,54
DEFORMAÇÃO PLÁSTICA		MÓDULO DE ELASTICIDADE	
Desvio médio	0,71	Desvio Médio	0,48
Desvio Padrão	0,78	Desvio Padrão	0,54
Coefficiente de variação (%)	9,9	Coefficiente de variação (%)	13,27

TABELA 10 – Variações dos valores médios das propriedades mecânicas dos corpos de prova com fibra de sisal - (Fonte: O Autor)

De acordo com o exposto no gráfico abaixo, nota-se que os valores médios calculados para as propriedades mecânicas dos corpos de prova com fibra de sisal tendem a se situarem mais aos valores entre 1000 a 1500 N para os valores de carga máxima, entre 25 a 30 MPa para os valores de tensão máxima, entre 7 e 8 % na deformação plástica, chegando próximo de 4,10 GPa para os valores correspondentes ao módulo de elasticidade, resultando, assim, nos valores médios obtidos em tabela. As variações referentes aos resultados de carga máxima e tensão no limite máximo foram de 19%, enquanto que para a deformação foi de 9,9%, com elasticidade de 13%, em média, o que indica que o material não deformou de forma substancial, ao contrário do que é reforçado com fibra de juta, mesmo estes sendo com duas camadas.

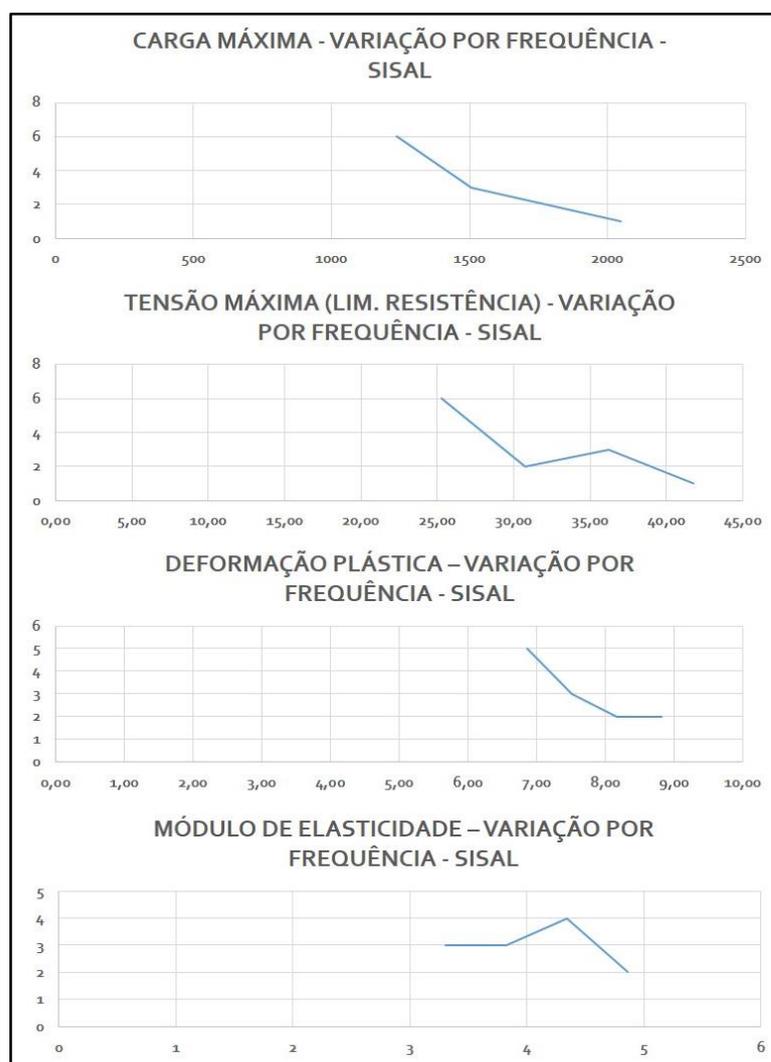


GRÁFICO 5 – Corpos de prova com fibra de sisal, inferências estatísticas – (Fonte: O Autor)

5.2. Inferências estatísticas dos compósitos de juta

CARGA MÁXIMA – COMPÓSITO DE JUTA							
CARGA (N)	x	Frequência	F%	Acumulado	A%	Média Por frequência	
437,35	534,35	484,35	3	8,33	3	8,33	1453,05
534,35	625,35	578,35	11	30,56	14	38,89	6361,85
625,35	719,35	672,35	9	25,00	23	63,89	6051,15
719,35	813,35	766,35	9	25,00	32	88,89	6897,15
813,35	907,35	860,35	2	5,56	34	94,44	1720,7
907,35	1001,35	954,35	2	5,56	36	100,00	1908,7
TOTAL E MÉDIA	719,35	36	100				677,57
TENSÃO (LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO) – COMPÓSITO DE JUTA							
TENSÃO (Mpa)	x	Frequência	F%	Acumulado	A%	Média Por frequência	
8,93	10,93	9,93	3	8,33	3	8,33	29,78
10,93	12,93	11,93	12	33,33	15	41,67	143,11
12,93	14,93	13,93	12	33,33	27	75,00	167,11
14,93	16,93	15,93	5	13,89	32	88,89	79,63
16,93	18,93	17,93	3	8,33	35	97,22	53,78
18,93	20,93	19,93	1	2,78	36	100,00	19,93
TOTAL E MÉDIA	14,93	36	100,00				13,70
DEFORMAÇÃO PLÁSTICA – COMPÓSITO DE JUTA							
DEFORMAÇÃO (%)	x	Frequência	F%	Acumulado	A%	Média por frequência	
6,08	11,85	8,965	12	33,33	12	33,33	107,58
11,85	17,62	14,735	11	30,56	23	63,89	162,085
17,62	23,39	20,505	9	25,00	32	88,89	184,545
23,39	29,16	26,275	3	8,33	35	97,22	78,825
29,16	40,7	34,93	1	2,78	36	100,00	34,93
TOTAL E MÉDIA	21,082	36	100,00				15,78
MÓDULO DE ELASTICIDADE - COMPÓSITO DE JUTA							
MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	x	Frequência	F%	Acumulado	A%	Média Por frequência	
2,6	3,025	2,8125	8	22,22	8	22,22	22,5
3,025	3,45	3,2375	13	36,11	21	58,33	42,0875
3,45	3,875	3,6625	6	16,67	27	75,00	21,975
3,875	4,3	4,0875	6	16,67	33	91,67	24,525
4,3	4,725	4,5125	1	2,78	34	94,44	4,5125
4,725	5,15	4,9375	2	5,56	36	100,00	9,875
TOTAL E MÉDIA	3,88	36	100,00				3,49

TABELA 11 – Propriedades Mecânicas dos corpos de prova com fibra de juta – (Fonte: O Autor)

CARGA MÁXIMA		TENSÃO (LIMITE MÁXIMO DE RESISTÊNCIA)	
Desvio Médio	107,06	Desvio Médio	2,28
Desvio Padrão	126,31	Desvio Padrão	2,65
Coefficiente de Variação(%)	17,56	Coefficiente de Variação(%)	17,73
DEFORMAÇÃO PLÁSTICA		MÓDULO DE ELASTICIDADE	
Desvio Médio	6,56	Desvio Médio	0,61
Desvio Padrão	8,3	Desvio Padrão	0,70
Coefficiente de Variação(%)	39,37	Coefficiente de variação (%)	18,00

TABELA 12 – Variações das propriedades mecânicas dos corpos de prova com fibra de juta – (Fonte: O Autor)

Já para os corpos de prova fabricados com fibras de juta, considerando todos como um só, foi observado que, para a carga máxima, os valores se concentraram próximos de 600 a 800 N, enquanto que para tensão os valores se situaram entre 10 e 15 MPa, tendo suas deformações no intervalo de 10 a 20% do deslocamento, e, por fim, o módulo de elasticidade tendendo a ser mais próximo de 3,9 GPa, um pouco menor que o da fibra de juta. Em todos os casos, houve variação em percentual médio de 17 a 18%, sendo que para a deformação plástica houve um percentual elevado, o que indica que o material se deforma mais facilmente, ao contrário do que é reforçado com fibra de sisal, por ter apresentado melhores propriedades mecânicas.

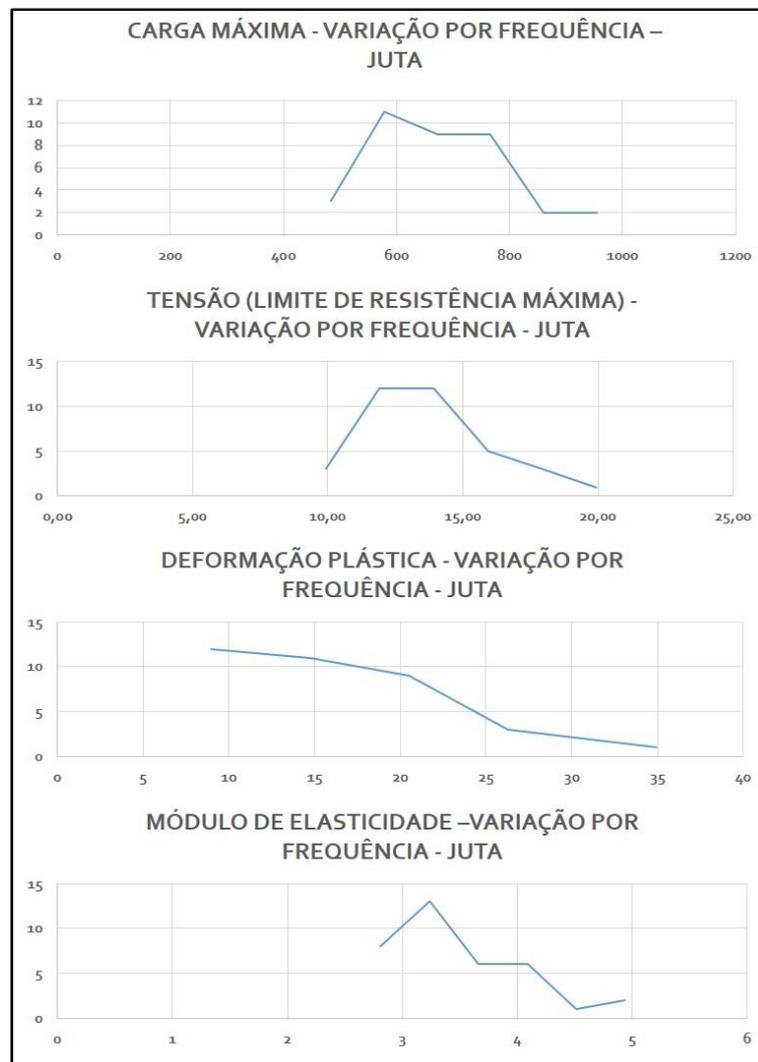


GRÁFICO 6 – Corpos de prova com fibra de juta, inferências estatísticas – (Fonte: O Autor)

5.3. Resultados finais

Os resultados abaixo foram extraídos das tabelas das propriedades mecânicas, sendo eles determinantes para a discussão acerca do comportamento, em média, dos corpos de prova fabricados com fibra de sisal e com fibra de juta, esta variando com 1 ou 2 camadas. Os valores tabelados para a composição das tabelas foram extraídos a partir dos dados coletados pela máquina universal de ensaios. Vale lembrar que muitos dados foram perdidos em razão de fatores externos, sendo necessário readaptá-los por conta dos erros resultantes das medições durante os testes de ensaio. Entretanto, os valores finais também indicam como os materiais compósitos se comportam em relação às suas propriedades mecânicas, sendo submetidos a elevados esforços com o fim de mostrar suas determinadas resistências, bem como suas aplicações dentro do contexto de mercado de novos produtos que frequentemente são lançados.

CARGA(N)	Corpos de prova - Valores Médios finais	
	Com fibra de juta	Com fibra de Sisal
TENSÃO (LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO) (MPa)	719,35	1642,873
DEFORMAÇÃO PLÁSTICA(%)	14,93	33,51
MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	21,08	7,84
	3,88	4,08

TABELA 13 – Resultado final das médias extraídas das propriedades mecânicas dos corpos de prova– (Fonte: O Autor)

6. DISCUSSÕES ACERCA DOS RESULTADOS

Embora durante a fabricação dos corpos de prova tenham ocorrido diversas situações que poderiam prejudicar os resultados finais, os resultados considerados de mais importância para o estudo comparativo entre os compósitos se mantiveram dentro do limite. As diferenças maiores foram, segundo o que dizem os gráficos, nos tempos as quais os corpos de prova foram submetidos mediante os testes.

Quanto ao resultado em relação aos testes, notou-se que alguns corpos de prova, mediante imagens obtidas, mantiveram suas áreas úteis, e alguns outros resistiram à quebra total, ou ao rompimento, das fibras. Na grande maioria, incluindo os com duas camadas de fibra de juta, não houve diferença entre os que havia uma camada, o que indica que não houve grande influência comparando os corpos de prova com uma e duas camadas de fibra de juta. Porém, os que foram fabricados com fibra de juta submetida a 5h de tratamento com NaOH, com duas camadas, tiveram um aumento na resistência, em comparação com os que apresentavam uma camada.

Quanto às fibras de juta tratadas a 2,5h com NaOH, não foi possível obter os tratamentos com 5% e 7,5%, porém não foi impedimento para analisar as que havia em estoque, tendo em vista o objetivo da pesquisa, mesmo com falta de materiais. Durante o decorrer das fabricações, muitas situações ocorreram e isso impossibilitou de se obter as amostras pendentes, incluindo o tempo de fabricação, tendo em vista que o prazo estava se aproximando do fim. No entanto, os resultados finais não tiveram mudança significativa para estas fibras.

Em comparação com os compósitos fabricados com fibra de sisal, é bem claro e evidente que esta apresentou ser mais resistente do que a fibra de juta, observando os resultados de carga máxima. Alguns corpos de prova, no momento da fabricação, tiveram suas fibras muito unidas e tendendo a se situarem mais para as paredes, o que pode ter contribuído com as diferenças de resultados, embora mínimos.

Em se tratando da deformação dos materiais, todos eles chegaram na zona plástica rapidamente, por se tratar de um material dúctil, como é o caso de um

polímero. A zona elástica, em todos os casos, tendeu a ser semelhante, sendo que ao chegar no ponto máximo da zona elástica, há diferenças inclusive visuais, conforme apresentado nos gráficos, o que foi o ponto principal para coletar os resultados de cargas máximas, deslocamentos, tempos de carga máxima, deformações, tensões, bem como as dimensões dos corpos de prova.

Os corpos de prova, em relação ao dimensionamento, se apresentaram com diferenças mínimas, variando minimamente em 0,5mm para todas as dimensões. Optou-se por uniformizá-las, já que quase todos os corpos de prova se mantiveram em medidas idênticas, com variações mínimas.

Por fim, observando os dados estatísticos, notou-se que além dos resultados apresentarem uma elevada variação, o que influenciou nos resultados dos coeficientes de variação, os corpos de prova reforçados com fibra de sisal apresentaram melhores resistências em relação às cargas e por consequência as tensões, e também apresentaram deformação menor. Já os corpos de prova com fibra de juta, as cargas e tensões foram menores, enquanto que apresentaram altas deformações, o que pode se inferir, a partir dos dados apresentados, que os compósitos reforçados com fibra de sisal tendem a ter propriedades mecânicas melhores.

6.1. Problemas encontrados

Por fim, Os problemas encontrados durante o processo de fabricação dos corpos de prova para os testes de tração foram:

- Falta de fibra de sisal tratada para os tempos de tratamento propostos;
- Falta de fibra de juta tratada nas porcentagens de 5% e 7,5% de NaOH para o tratamento de 2,5h;
- Inexperiência em trabalhar com a solução de Hidróxido de Sódio, o que atrapalhou no processo de obtenção de corpos de provas mencionados anteriormente;

- A maioria dos corpos de prova fabricados apresentaram falhas na matriz polimérica, o que influenciou nos valores coletados dos testes;
- O dimensionamento final dos corpos de prova realizados com um escalímetro, o que causou inexatidão das dimensões, embora em poucos milímetros.

7. CONCLUSÃO

Não é de agora, deste presente século, que os estudos de materiais compósitos são novidades. Isso tudo vem de séculos de estudos e adaptações, segundo o contexto a que se refere o material frente ao seu uso. Desde os povos antigos até à atualidade, a sociedade vem ampliando seu rol de materiais desenvolvidos, com o fim de se desenvolverem, como é o caso de países de primeiro mundo, como também países emergentes que vem pesquisando e obtendo resultados positivos nesta corrida pelo desenvolvimento socioeconômico. Porém, há desafios a serem enfrentados em se tratando de materiais sustentáveis, o que vem gerando debates em todos os nichos, e sendo o que são, são capazes de tirar famílias pobres de seu atual estado de classe social abaixo da classe média para as que garantem a dignidade a elas, e a razão pela qual o estudo de materiais alternativos não deve parar, os quais agregam valor tanto para essas famílias quanto para a sociedade em geral, além desses materiais promoverem um melhor custo-benefício ao produto final.

Em relação aos resultados obtidos durante o tempo de estudos comparando dois tipos de materiais compósitos, um reforçado com fibra de sisal, e outro com fibra de juta, ambos, embora aquele tenham tido um melhor resultado em relação ao limite máximo de tração, o que comprova que resistiu melhor a uma carga elevada, podem ser aplicados junto com outros materiais que possuem as mesmas propriedades mecânicas apresentadas analisadas durante todo este trabalho, tendo em vista seus limites de aplicações e para qual finalidade eles podem ser utilizados. Vale lembrar que o propósito do estudo dos materiais apresentados não tem como finalidade de exclusão de determinados tipos de materiais, pois cada um destes atendem às suas determinadas aplicações dentro do mercado.

7.1. Sugestões para trabalhos futuros

Envolvendo todo o conhecimento a respeito das propriedades mecânicas dos materiais compósitos, reforçados com fibras naturais, sugere-se o trabalho com materiais poliméricos recicláveis como matriz, sendo o mesmo elaborado com as fibras já citadas em todo este trabalho, envolvendo outras fibras naturais conhecidas

no mercado, com variações de tempos de tratamentos e de quantidade de material químico, e fazer uma análise microscópica das fibras. Para as aplicações:

- Estudar sobre as possíveis aplicações, incluindo os materiais poliméricos de resina epóxi, para a construção de partes de instrumentos musicais, especificando o braço de uma guitarra elétrica ou de um contrabaixo elétrico, por serem fabricados com madeira própria para instrumentos, sendo necessário realizar comparações entre esses materiais.
- Estudar a aplicação dos materiais compósitos reforçados com fibra de sisal e de juta em painéis de absorção sonora, por se tratar de um material similar a um tecido, comparando com os materiais que já existem no mercado próprios para este fim, envolvendo as formas geométricas que auxiliam na absorção acústica de um determinado ambiente, tais como os painéis de absorção sonora.
- Estudar comparações envolvendo as fibras objetos de pesquisa deste trabalho para aplicações em coletes à prova de bala, os quais são constituídos de materiais poliméricos de aramida, tendo em vista o custo-benefício que o material possa promover.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASM International Committee. **Engineered Materials Handbook**, USA: ASM International, 1987, v.2 : Engineering plastics.

TIME-LIFE BOOKS; HISTÓRIA EM REVISTA. **A Era dos Reis Divinos**. Rio de Janeiro, RJ: Abril Livros, 1991. p. 9 – 32;

TIME-LIFE BOOKS; HISTÓRIA EM REVISTA. **A Força da Iniciativa**. Rio de Janeiro, RJ: Abril Livros, 1992.p. 54 – 73;

CAMPOS, Adriana; TEODORO, Kelcilene B. R.; MARCONCINI, José M.; MATTOSO, Luiz H. C.: **Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/Sisal**, São Carlos, 2010.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, E. M.; ARAÚJO, T. A. J. (2011) **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande. REMAP – Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.6.2. 127- 139.

MEDINA, J. C. **Plantas fibrosas da flora mundial**. Instituto Agronômico de Campinas, 1959. p. 1-21; 913.

SILVA, R. V. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Centro Tecnológico. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. São Carlos, 2003. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais)

CANTALINO, A. L.; TORRES, E. A. **Prospecção tecnológica sobre processos e equipamentos para o desfibramento do sisal e outras plantas fibrosas com base no depósito de patentes**. Cadernos de Prospecção, Salvador, v. 7, n. 3, p. 399-408, jul./set. 2014.

SILVA, Odilon R.R.F. ; COUTINHO, Wirton M. ; CARTAXO, Waltemilton V. ; SOFIATTI, Valdinei ; SILVA FILHO, João L. ; CARVALHO, Orozimbo S. ; COSTA, Louriorlando B.: **Cultivo do Sisal no Nordeste Brasileiro**. Campina Grande, PB. Julho, 2008.

SILVA, O.R.R.F. da; BELTRÃO, N.E. de M. org. **Agronegócio do sisal no Brasil**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPA, 1999. 205p.

MARTIN, Ariana R.; MARTINS, Maria A.; MATTOSO, Luiz H.C.; SILVA, Odilson R.R.; **Polímeros: Ciência e Tecnologia: Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade agave sisalana**, p. 40-46, 20 de Setembro de 2008. São Carlos, 2009.

SILVA, J.F. **Juta: informações básicas para seu cultivo**, por Jefferson Felipe da Silva. Belém, EMBRAPA - UEPAE de Belém, 1989. 16 p. (EMBRAPA - UEPAE de Belém. Documentos, 8).

HOMMA, A. O.; REIS, A.S. **Análise do comportamento dos preços médios da fibra de juta no mercado internacional**. Belém, CTAPU, Novembro de 1978.

LIBONATI, V.F. **A juta na Amazônia**. Belém, LAN. 1958. 83p. (LAN. Boletim Técnico, 34).

GABRIELLA PORTO, Infoescola, 2022: **isolamento acústico**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/isolamento-acustico/>, acesso em 07 de Julho de 2022.

BIOPDI. **Ensaio de Tração**. Disponível em: <<https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao/>>, acesso em 8 de Julho de 2022.

DÉBORA CARVALHO MELDAU, Infoescola: **Lignina**, 2022. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/compostos-quimicos/lignina/>>, acesso em 8 de Julho de 2022.

UFLA, Universidade Federal de Lavras. **Materiais Poliméricos**. Disponível em: <http://www.engmateriais.deg.ufla.br/index.php/polimeros/>>, acesso em 8 de julho de 2022.

SOUZA, Líria Alves de. **Materiais Poliméricos**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/materiais-polimericos.htm>. Acesso em 08 de julho de 2022

BATHISTA E SILVA, André Luis Bonfim; SILVA, Emerson Oliveira da. **CONHECENDO MATERIAIS POLIMÉRICOS**. Universidade Federal de Mato Grosso. Mato Grosso, 2003, p. 6.

SOUSA, Cyntia Santos Magaluti de; BARATA, Tomás Queiroz Ferreira; LINHARES, Fernando de Oliveira. **Polímeros: principais tipos, características e especificações comerciais, processos de transformação e aplicações**. São Paulo, 2019.

QUEVEDO, Renata Tomaz. **Polímeros**; Info Escola, 2016. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/polimeros/>>, acesso em 8 de Julho de 2022.

MOLON, Alessandro. **Green New Deal Brasil: 30 ações até 2030 para um desenvolvimento sustentável**. Novembro, 2021.

BIOPDI; **ENSAIO DE TRAÇÃO**, disponível em <<https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao/>>, acesso em 4 de Março de 2023.

HALLACK, João Chafi; **Resistência dos Materiais**; Universidade Federal de Juiz de Fora; Apostila de Resistência dos Materiais I, p. 14-15; 2012.

RECICLAGEM DO PLÁSTICO, em Só Biologia. Virtuoso Tecnologia da Informação, 2008-2023. Disponível em <<https://www.sobiologia.com.br/conteudos/reciclagem/reciclagem7.php>>, acesso em 09 de Março de 2023.

RECICLAGEM DE PLÁSTICOS, em Infoescola. Disponível em <<https://www.infoescola.com/ecologia/reciclagem-de-plasticos/>>, acesso em 10 de Março de 2023.

LIMITE DE ESCOAMENTO, Imagem. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Limite_de_escoamento>, acesso em 10 de Março de 2023.

GUEDES, T.A.; ARCOSI, C.R.L.; MARTINS, A.B.T.; JANEIRO, V.; **Projeto de Ensino, Aprender fazendo estatística**; 1-49; 2005.

IDEIA SUSTENTÁVEL; **A juta no Brasil**. Disponível em: <<https://www.ideiasustentavel.com.br/wp-content/uploads/2014/05/apresentao.pdf>>, acesso em 30 de Março de 2023.

DA SILVA, Odilon R. R. F.; CARTAXO, Vieira W.; SOFFIATI, Valinei; FILHO, João L. da; **Equipamentos; extração da fibra**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/sisal/pre-producao/equipamentos>>, acesso em 1º de Abril de 2023.

MATRIZ E FIBRA, Imagem. Disponível em: <<https://edctecnologia.com.br/novos-materiais-compositos-desenvolvidos-por-meio-da-simulacao-molecular-com-biovia-materials-studio/>>, acesso em 10 de Março de 2023.

HIBBELER, R.C.; **Diagrama Tensão-Deformação**, Imagem. Resistência dos Materiais; Pearson Prentice Hall, 2009.

APÊNDICE

Dimensões em escala real dos corpos de prova. Valores aproximados, para fins de facilitar os cálculos finais das propriedades mecânicas.

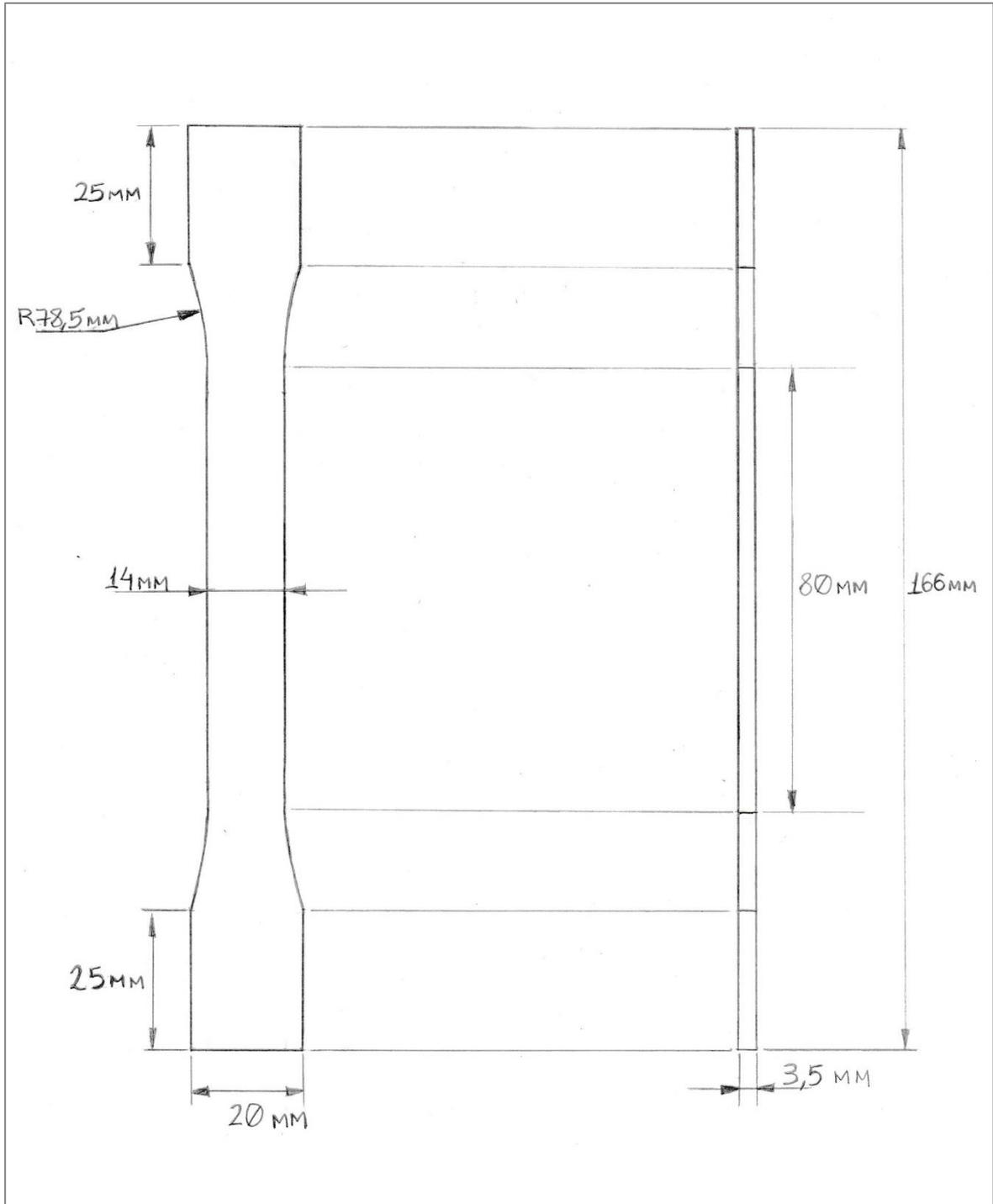


FIGURA 30 – Desenho à mão do corpo de prova, com medidas em mm – (Fonte: O Autor)