

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Química - Câmpus de Araraquara

Camila Capai de Andrade

COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE FIBRAS NATURAIS E FIBRA DE VIDRO UTILIZADOS
NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

Araraquara
2023

Camila Capai de Andrade

COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE FIBRAS NATURAIS E FIBRA DE VIDRO UTILIZADOS
NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Lorena Oliveira Pires

Araraquara

2023

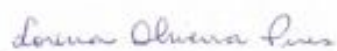
Camila Capai de Andrade

COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE FIBRAS NATURAIS E FIBRA DE VIDRO UTILIZADOS
NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita
Filho" como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Araraquara, 13 de janeiro de 2023.

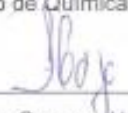
Banca examinadora



Prof.^a Dr.^a Lorena Oliveira Pires
Instituto de Química – UNESP, Araraquara


Prof. Dr. Elias de Souza Monteiro Filho

Instituto de Química – UNESP, Araraquara


Prof. Dr. Ossamu Hojo

Instituto de Química – UNESP, Araraquara

À Deus, que sempre me deu força e resiliência
para saber trilhar o caminho que escolhi.

Aos meus pais, que destinaram suas vidas para
a nossa família e me apoiaram para que eu
pudesse realizar este sonho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, pela vida e por todas as lições que aprendi durante a minha jornada na graduação, por sempre estar comigo, me amparando com saúde, força e sabedoria para encarar os desafios e todas as dificuldades que encontrei neste percurso.

Aos meus pais, Sônia Maria e Cláudio Marcos, que sempre foram minha rede de apoio em todas as etapas da minha vida. Sempre presentes nos meus dias, com toda paciência e dedicação, para que eu pudesse trilhar um caminho mais fácil e confortável durante esses anos.

À minha irmã, Juliana, por sempre ser parceira, me fortalecendo e mostrando o tamanho da minha capacidade dentro das oportunidades e condições que possuo.

Aos meus tios e tias, que estiveram presentes em mais esta etapa da minha vida, apoiando, dando conselhos e, por muitas vezes, facilitando os trechos entre Araraquara e a volta para casa aos finais de semana.

Agradeço ao carinho, cuidado, paciência e convivência dos meus amigos e amigas de longas datas, que fizeram parte desta trajetória com maestria, mesmo de longe.

Aos amigos e amigas que a universidade me apresentou. Às meninas que dividiram o teto comigo durante esses anos no Apartamento 12 em Araraquara e também aos amigos que dividiam os dias na sala de aula e nos estudos. Os quais tornavam os dias mais tranquilos e faziam a distância de casa ser mais satisfatória e menos dolorosa. Todos foram de extrema importância para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu namorado Paulo Buttignol, por estar comigo em todos esses anos, superando a distância e as dificuldades. Sempre me apoiando e me mostrando que sou capaz e que posso ir além dos meus próprios objetivos, por toda compreensão e companheirismo neste período importante que foi a minha graduação.

À minha orientadora Lorena Oliveira Pires, pelo tempo dedicado para me auxiliar neste trabalho, com tamanha paciência, delicadeza e interesse, me direcionando para que o melhor pudesse ser feito.

Por fim, à todos os docentes do curso de Engenharia Química da UNESP – Araraquara. Por todo ensinamento e por compartilharem seus conhecimentos, para que todos nos tornássemos futuros profissionais capacitados e críticos.

RESUMO

O processo produtivo utilizando fibra de vidro, surgiu como uma solução eficaz para a estruturação de peças e outros materiais que precisam ser reforçados ou oferecer características específicas de resistência. Com a escassez dos recursos naturais e a crescente preocupação global com o futuro do planeta e das próximas gerações, é cada vez maior a inserção de matérias-primas de fontes renováveis em linhas de produção. Na linha de produção automotiva, cada vez mais as peças passam por seu processo produtivo utilizando materiais sustentáveis. Neste trabalho é apresentado o comportamento de peças feitas totalmente com fibra de juta e peças híbridas utilizando materiais sustentáveis como, por exemplo, fibra de juta reforçada com tecido de fibra de vidro. Para determinar as características mecânicas, foram realizados ensaios de tração e flexão. Como teste, algumas peças foram colocadas em ônibus, como apoio de braço e de cabeça, tampas de caixa de áudio e de ar condicionado, caixa de armazenamento de dinheiro do cobrador e tampas de manutenção. A partir dos resultados, pode-se concluir que peças produzidas com fibras naturais, de maneira híbrida ou não, podem ser aplicadas em itens automotivos, pois não interferem no desempenho mecânico das peças.

Palavras-chave: sustentabilidade; ensaio de tração; ensaio de flexão; fibra de juta; linha de produção.

ABSTRACT

The production process using fiberglass has emerged as an effective solution for structuring parts and other materials that need to be reinforced or offer specific resistance characteristics. With the scarcity of natural resources and the growing global concern for the future of the planet and the next generations, the insertion of raw materials from renewable sources into production lines is increasing. In the automotive production line, more and more components go through their production process using sustainable materials. This work presents the behavior of pieces made entirely with jute fiber and hybrid parts using sustainable materials such as jute fiber reinforced with fiberglass fabric. To determine the mechanical characteristics, tensile and bending tests were performed. As a test, some parts were placed on buses, such as armrests and headrests, audio and air conditioning box covers, collector's cash storage box, and maintenance caps. From the results, it can be concluded that components produced with natural fibers, hybrid or not, can be applied to automotive items because they do not interfere with the mechanical performance of the parts.

Keywords: sustainability; tensile test; bending test; jute fiber; production line.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cargas utilizadas em materiais compósitos.	17
Figura 2 - Matrizes utilizadas em materiais compósitos.	18
Figura 3 - Representação das cadeias químicas das matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas. a) Ligação química da matriz polimérica termoplástica. b) Ligação química da matriz polimérica termorrígida.	21
Figura 4 - Representação da reação de polimerização da resina poliéster.	23
Figura 5 - Representação de uma molécula de resina poliéster ortoftálica.	25
Figura 6 - Porcentagem de aplicação de fibras naturais em diferentes setores.	28
Figura 7 - Plantação de Juta e sua colheita por populações ribeirinhas.	30
Figura 8 - Partes de um carro que podem ser produzidas utilizando fibras naturais.	33
Figura 9 - Molde aquecido utilizado para a produção dos corpos de prova.	35
Figura 10 - Contramolde de alumínio, com vedação de borracha.	35
Figura 11 - Sistema de aquecimento do molde e contramolde por serpentinas.	36
Figura 12 - Molde manteado com fibra natural de juta.	37
Figura 13 - Tecido de Fibra de Vidro utilizado como reforço.	37
Figura 14 - Manta de fibra natural de Juta reforçada com tecido de fibra de vidro.	38
Figura 15 - Máquina de Ensaios Mecânicos Kratos linha KE utilizada nos testes.	39
Figura 16 - Corpos de prova para os ensaios mecânicos. a) Corpos de prova para ensaios de tração. b) Corpos de prova para ensaio de flexão.	39
Figura 17 - Itens representativos que foram substituídos por peças produzidas de maneira híbrida para teste.	40
Figura 18 - Imagem representativa de um porta dinheiro que foi escolhido para teste com peça produzida de maneira híbrida.	41
Figura 19 - Peça produzida com manta de fibra natural de Juta.	42
Figura 20 - Peça produzida com manta de Fibra Natural de Juta reforçada com Tecido de fibra de Vidro.	42
Figura 21 - Gráfico resultante do ensaio de tração, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta.	43
Figura 22 - Gráfico resultante do ensaio de tração, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro.	44

Figura 23 - Gráfico resultante do ensaio de flexão, utilizando corpo de prova de fibra natural de juta.	45
Figura 24 - Gráfico resultante do ensaio de flexão, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de compósitos naturais e sintéticos.....	20
Tabela 2 - Principais diferenças de características entre as matrizes termofixas e termoplásticas.	22
Tabela 3 - Tipos de resina poliéster e suas principais diferenças.	23
Tabela 4 - Propriedades da resina poliéster.	24
Tabela 5 - Classificação das fibras sintéticas e exemplos.	26
Tabela 6 - Resultados do ensaio mecânico de tração com corpos de prova de manta de fibra natural de juta.	43
Tabela 7 - Resultados do ensaio mecânico de tração, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro.	44
Tabela 8 - Resultados do ensaio mecânico de flexão utilizando corpo de prova de fibra natural de juta.	46
Tabela 9 - Resultados do ensaio mecânico de flexão, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Compósitos	16
3.1.1 Compósitos Sintéticos	20
3.2 Fibras Sintéticas	25
3.2.1 Fibra de Vidro.....	26
3.3 Fibras Naturais	27
3.3.1 Fibra de Juta.....	29
3.4 Compósitos Híbridos	30
3.5 Processos Produtivos de Materiais Compósitos	31
3.6 Compósitos e a Indústria Automotiva	32
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1 Injeção de Resina	36
4.2 Ensaio Mecânicos.....	38
4.3 Análises Físicas Visuais.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Injeção de Resina	42
5.2 Ensaio de Tração.....	43
5.3 Ensaio de Flexão	45
5.4 Análises Físicas Visuais.....	48
6. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos surgiram pela primeira vez na história em 1500 a.C., quando egípcios e mesopotâmicos faziam misturas de lama e palha para construções resistentes, carroças feitas utilizando paus e ossos de animais, sempre combinando os materiais para se obter melhores estruturas. Ou seja, as primeiras aplicações de materiais compósitos foram utilizando fontes naturais. Porém, com o desenvolvimento da humanidade e os avanços tecnológicos em materiais cerâmicos, plásticos ou metais contendo fibras sintéticas foram ganhando espaço e resultando em menor interesse pelos compósitos de fibras naturais.

Em 1934, na Inglaterra, surgiu a era moderna dos compósitos, que era representada pelos polímeros. O primeiro polímero a ser desenvolvido foi o Polietileno, mas só foi realmente conhecido após quase cinco anos. Durante a Segunda Guerra Mundial, a partir da necessidade de materiais mais leves para serem aplicados em aviões, a indústria aeronáutica foi a pioneira a desenvolver e testar materiais compósitos. Porém, os polímeros não possuíam características suficientes quanto à resistência e rigidez para determinadas aplicações estruturais.

Com o avanço da tecnologia e pesquisas em como aumentar a resistência e rigidez de polímeros, constatou-se que a fibra de vidro era um excelente material que poderia ser utilizado em conjunto dos polímeros, resultando no nascimento da indústria de Polímeros com Reforço de Fibra de Vidro (PRFV). Foi assim que, dentro da ciência dos materiais, almejou-se a combinação de diferentes tipos de materiais para alcançar uma melhor combinação de propriedades em um único material. Os materiais compósitos podem ser encontrados em construções civis, indústria aeroespacial, indústria automotiva, usinas de energia eólica, entre outros.

Desta maneira, os compósitos se espalharam pelas mais diversas áreas de aplicação. De acordo com as necessidades das características finais do produto que se deseja alcançar, foram sendo inseridos diferentes materiais nas combinações de compósitos. Como a fibra de carbono, que apresenta resistência semelhante ao aço e é leve como plástico. Porém, seu alto custo não permite o uso em determinadas aplicações. Já a fibra de vidro, por ser de baixo custo e entregar alto desempenho em funções estruturais, acaba sendo mais utilizada em todos os segmentos.

Atualmente, com as necessidades ambientais e o mundo almejando por projetos sustentáveis, está cada vez mais presente o uso de fibras naturais em fabricação de compósitos. Com maiores aplicações, surgiram novas combinações de compósitos, não apenas resumidos

em fibra de vidro e resina. Há muito tempo se utilizam as fibras naturais para fabricação de tecidos, peças de roupas e até mesmo decorações residenciais (FONTES,2013).

Setores industriais e grupos de pesquisa já concentram grande parte de suas atenções no estudo e aplicação de materiais que sejam constituídos por matérias primas de fontes renováveis, que preservem o meio ambiente ou reduzam os efeitos negativos causados. Sendo assim, produtos podem ser formulados de maneira que não agridam e não interfiram no meio ambiente. Esta tem sido a tendência mundial, visando menores impactos e baixo custo. E isso não pode ser diferente na aplicabilidade de materiais utilizados em compósitos (SILVA, 2014).

Recentemente, com a necessidade de inovação e tecnologia utilizando materiais sustentáveis, o uso de fibras naturais como reforço em compósitos passou a ser empregado em construções civis, como pré-moldados e postes, em indústrias automotivas e aeronáuticas, na fabricação de componentes internos ou de acabamento de automóveis ou aviões. Entretanto, ainda é pouco divulgado e conhecido o uso das fibras naturais nestas aplicações.

Na segunda semana do mês de agosto de 2022, a Volkswagen Brasil assinou uma parceria com a UNESP, campus de Botucatu, para iniciar estudos de aplicação de compósitos produzidos com fibras naturais em peças dos carros da linha da marca. Ou seja, a versatilidade das aplicações das fibras naturais em diversos setores e agora em peças automotivas representa a busca e a necessidade de maior visão destes materiais.

A partir do momento em que esses estudos e testes com materiais sustentáveis alcançarem os olhos e ouvidos das partes mais interessadas, será possível avançar com as tecnologias e aplicações. Pois, em muitas situações, não há o apoio e interesse no financiamento ou parceria nos desenvolvimentos, devido ao pouco conhecimento ou até mesmo pouca informação sobre a grandiosidade do uso de fibras naturais empregadas em compósitos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo principal o estudo da aplicação de fibra natural de juta na fabricação de peças automotivas, realizando um comparativo, através de ensaios mecânicos de tração e flexão, entre a produção apenas com fibra natural de juta e resina poliéster e a produção híbrida utilizando tecido de fibra de vidro como reforço.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar estudos sobre os compósitos poliméricos;
- Analisar o comportamento de compósito híbrido de fibra natural de juta reforçado com tecido de fibra de vidro, avaliar suas características visuais e realizar ensaios mecânicos de tração e flexão com corpos de prova da amostra;
- Analisar o comportamento da fibra natural de juta aplicada na produção de peças automotivas e determinar suas possíveis aplicações.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Compósitos

Os materiais compósitos são compreendidos como compostos multifásicos, que são combinados para se obter um produto final com características e propriedades melhores do que os materiais separadamente. Ou seja, possuem fases constituintes de materiais divergentes, com propriedades que não sejam iguais e, após combinados, resultam em um material com maiores propriedades mecânicas como dureza, resistência térmica, tração e flexão. Essa combinação de propriedades mecânicas e a leveza estrutural fazem dos compósitos materiais de extremo interesse para a engenharia (SANTANA, 2014).

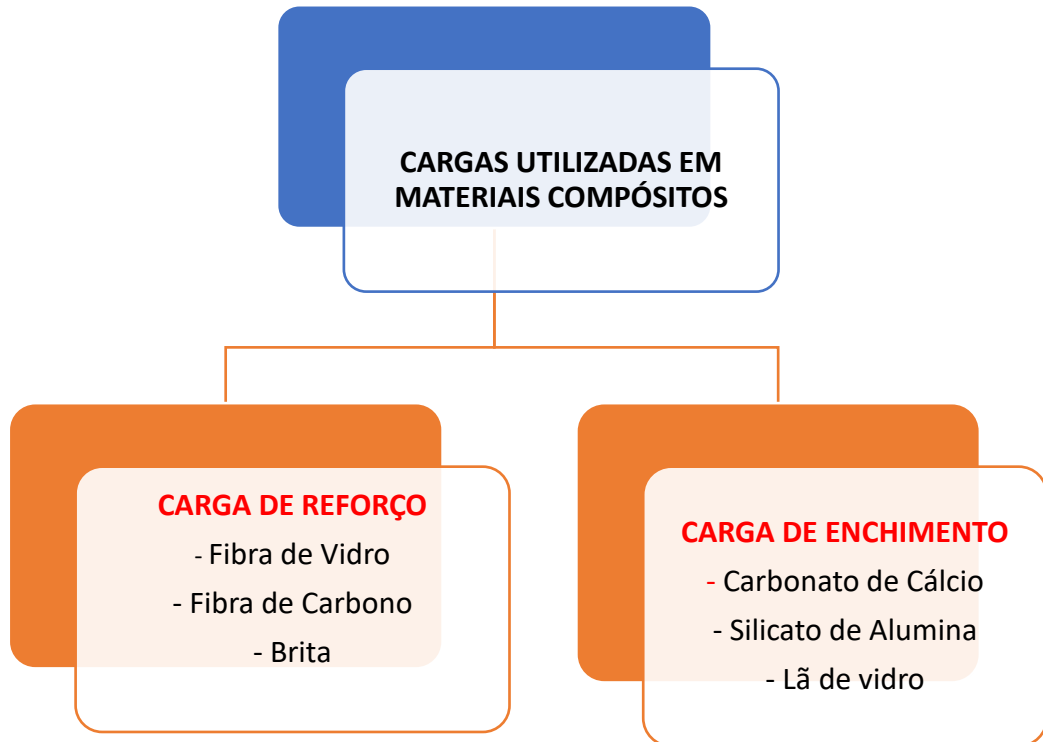
Normalmente são constituídos por duas fases, a fase matriz e a fase reforço. A primeira, é responsável por dar estrutura ao compósito, enquanto a segunda é responsável por realçar as propriedades desejadas (THOMAS; POTHAN, 2009). Atualmente os materiais compósitos metálicos, cerâmicos e poliméricos são uma realidade em todos os campos da indústria e da ciência, e as pesquisas nessa área vêm proporcionando inovações tecnológicas e científicas (GOMES, 2015).

Segundo CALLISTER (2016), as propriedades dos compósitos é o somatório de todos os fatores dos materiais que os compõem, como a geometria da fase dispersa, distribuição, orientação e também da compatibilidade entre os constituintes. Ou seja, é necessário que os materiais tenham afinidade entre si para que se mantenham unidos. Assim, é de extrema importância o conhecimento das propriedades, tanto físicas quanto químicas, da matriz e do reforço.

As cargas de reforço são aplicadas quando há necessidade de aumentar a resistência mecânica da matriz. Essas cargas de enchimento são usadas para somar outras propriedades, como por exemplo: condutividade ou isolamento térmico e elétrico, resistência a altas temperaturas, resistência ao desgaste externo, aumento de dureza superficial e redução de peso e de custos. Um exemplo de cargas é a introdução de carbonato de cálcio em matrizes poliméricas para se obter maior resistência e diminuir a porcentagem de material polimérico (MENDONÇA, 2005).

A Figura 1 apresenta os tipos de carga utilizadas em materiais compósitos.

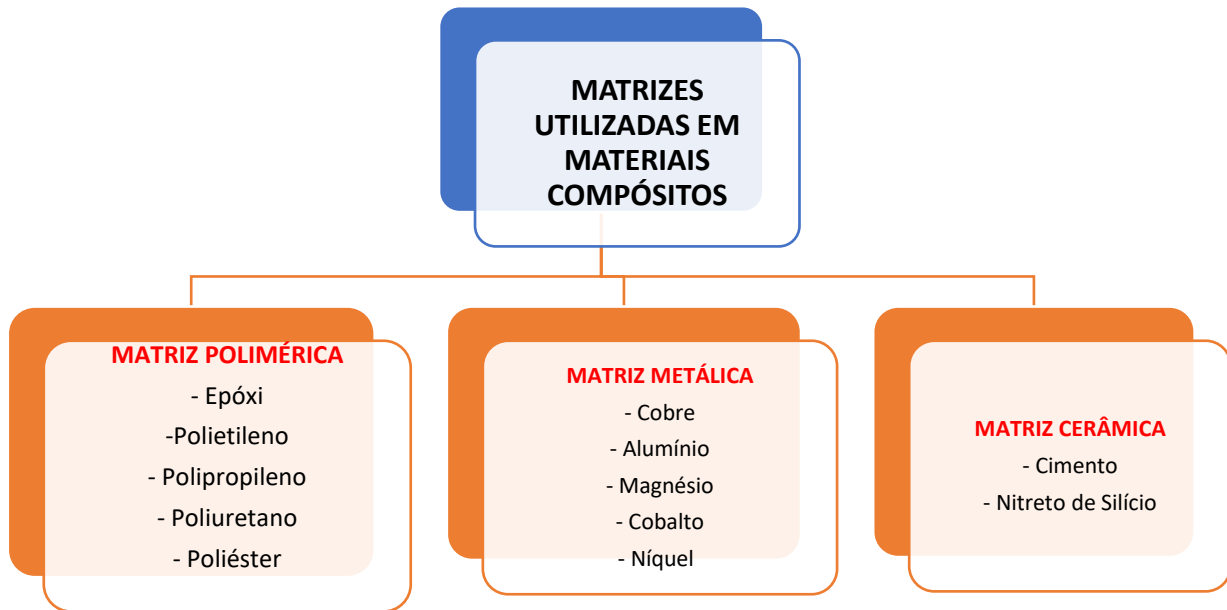
Figura 1 - Cargas utilizadas em materiais compósitos.



FONTE: Adaptado de CALLISTER (2016).

A função principal da matriz é agir como um meio de distribuição de carregamento para a carga através do cisalhamento. Uma outra função da matriz em um compósito, e não menos importante, é proteger a carga contra danos causados por agentes externos, fazendo com que não haja a degradação precoce do reforço (CALLISTER, 2016). Na Figura 2, estão apresentadas as principais matrizes utilizadas em materiais compósitos.

Figura 2 - Matrizes utilizadas em materiais compósitos.



FONTE: Adaptado de CALLISTER (2016).

A adesão das interfaces do reforço e da matriz deve acontecer da maneira mais ideal possível, causando a melhor combinação das propriedades dos constituintes, pois é na região das interfaces que acontecerá a transferência mecânica da matriz para o reforço. Se a adesão entre a matriz e o reforço não acontecer como uma perfeita combinação, o produto final pode apresentar baixo desempenho e fragilidade estrutural. Ou seja, suas propriedades mecânicas não serão altas, podendo resultar em rachaduras futuras (OLIVEIRA, 2017).

Segundo CALLISTER (2016) essa boa adesão pode se dar devido a alguns fatores, como:

- Atração eletrostática;
- Ligações químicas como força de Van der Waals;
- Arranjo geométrico do reforço;
- Propriedades químicas do reforço;
- Configuração molecular e composição da matriz.

A maior vantagem no uso de compósitos é que sua fabricação permite formas e curvas, de maneiras suaves e aerodinâmicas. E a segunda maior vantagem dos compósitos é não estar

sujeito à corrosão. Com os bons resultados das características dos materiais combinados, os compósitos apresentam grande desempenho em um ambiente de flexão (GOMES, 2015).

Para que seja possível entender melhor o que são materiais compósitos, pode-se seguir um comparativo com uma construção civil. Ao se construir uma parede, são utilizados vergalhões de aço imersos em concreto, o qual possui em sua composição areia, cimento e água. Ou seja, é a combinação das propriedades do concreto com as dos vergalhões de aço para obter uma estrutura desejada. Se fossem usados apenas os vergalhões de aço, não seria obtido um resultado final com resistência à compressão, ele se desmontaria sobre si mesmo. Da mesma maneira, se fosse usado apenas o concreto, qualquer impacto seria o suficiente para trincar, rompendo a estrutura. Então, é necessária a combinação dos vergalhões de aço com o concreto para que se obtenha resistência ao impacto, ao cisalhamento e maior resistência à tração, pois os vergalhões serão suportados pelo concreto para que não dobrem sobre si mesmos (MOREIRA, 2009; GOMES, 2015; GONÇALVES, 2021).

Assim acontece com todos os materiais compósitos, sejam de construções civis, indústrias aeronáuticas ou automotivas, ou no setor da energia eólica. A partir de combinações de materiais com características diferentes, se obtém um material final com mais resistência e qualidade (GOMES, 2015). Em resumo, as fibras contribuem como reforçadores, sendo o elemento responsável pela resistência mecânica de uma peça. E a matriz tem sua principal função como comunicador de forças entre as fibras e dá a conformidade da peça (OLIVEIRA, 2017).

A aplicação de materiais compósitos foi inserida na indústria aeronáutica na busca de aviões mais leves e resistentes. Compósitos não sofrem de fadiga e também não desenvolvem micro rachaduras, como acontece com o metal. Por isso as hélices dos helicópteros produzidas com compósitos podem apresentar sua vida útil mais longa do que as lâminas de metal (CAVALCANTI, 2018).

De acordo com os materiais constituintes dos compósitos, estes podem ser classificados e divididos em: materiais compósitos sintéticos e materiais compósitos naturais. Os compósitos naturais, como o próprio nome já apresenta, têm sua origem na natureza, não possuindo intervenções em sua produção. Já os denominados de sintéticos, são produzidos por meio de atividades industriais, conforme apresentado na Tabela 1 (CALLISTER, 2016).

Tabela 1 - Exemplos de compósitos naturais e sintéticos.

MATERIAIS COMPÓSITOS	EXEMPLOS
Naturais	Madeiras Ossos Músculos
Sintéticos	Plásticos reforçados Concreto armado Polímeros reforçados

FONTE: Adaptado de CALLISTER (2016).

3.1.1 Compósitos Sintéticos

Os materiais compósitos sintéticos, em sua maioria, são de matrizes poliméricas. Assim, permitem moldagem estrutural, sendo constituídos pela matriz polimérica e o reforço. O material mais utilizado como reforço na composição de materiais compostos são as fibras de vidro. Mas também são muito utilizadas as fibras de carbono ou aramida, dependendo da aplicação do produto final. E para a matriz, em geral, utilizam-se resinas termoendurecíveis como epóxi e poliéster (SANTANA, 2014).

A palavra polímero vem do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição). Ou seja, polímero é uma macromolécula formada por dezenas de milhares de unidades de repetição. O maior destaque dos polímeros é a leveza, além de serem flexíveis, com baixa resistência ao calor e bons isolantes térmicos e elétricos (PADILHA, 2000). Os compósitos de matriz polimérica oferecem maior possibilidade de se obter materiais com combinações que entreguem as melhores propriedades desejadas, devido a boa resistência mecânica da matriz (MENDONÇA, 2005).

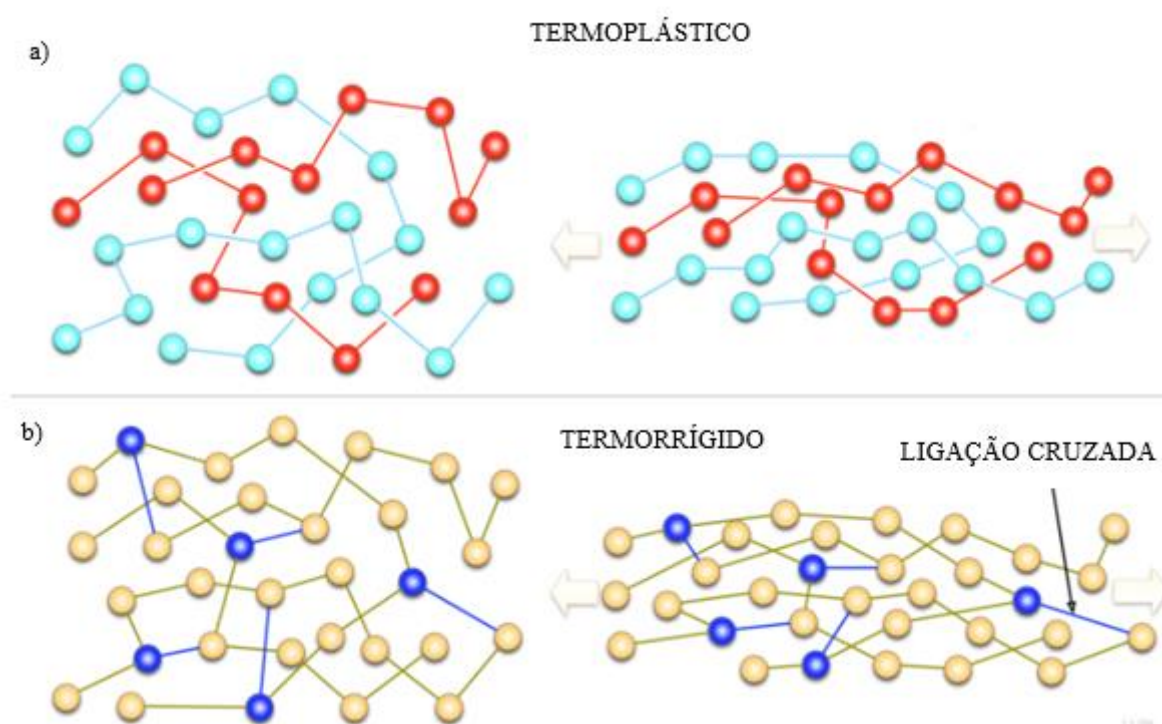
A matriz polimérica a ser utilizada em um compósito é baseada nos requisitos finais do material que se quer fabricar, ou seja, dependente das características exigidas do produto final. Devem ser seguidos princípios de custo, desempenhos térmicos e mecânicos. Ainda, é essencial que a matriz cumpra o papel de proteção das fibras, assim como entregue a garantia de alinhamento e a transmissão de esforços às fibras (GONÇALVES, 2021).

As matrizes poliméricas podem ser termorrígidas ou termofixas e termoplásticas. A principal distinção entre os tipos de matrizes está nas características químicas e físicas. As matrizes termorrígidas são estáveis termicamente, ou seja, após a catálise não conseguem ser

fundidas ou amolecidas. Consequentemente, não podem ser recicladas. Enquanto isso, as matrizes termoplásticas não são resistentes à altas temperaturas, fundindo ou amolecendo facilmente. Porém, devido a esta característica, podem ser recicladas (MAJEWSKI, 2017).

As ligações químicas das matrizes termorrígidas são cruzadas, formando um processo químico irreversível, não podendo ser reciclado. Entretanto, as ligações químicas das matrizes termoplásticas não são fortes, sendo apenas Forças de Van der Waals. A Figura 3 representa as ligações químicas de cada matriz polimérica (GONÇALVES, 2021).

Figura 3 - Representação das cadeias químicas das matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas. a) Ligação química da matriz polimérica termoplástica. b) Ligação química da matriz polimérica termorrígida.



FONTE: Adaptado de GONÇALVES, 2021.

Dentro do leque de matrizes poliméricas termofixas, as principais são: resina epóxi, fenólica, poliuretano e poliéster. Devido às suas características de alta performance e integridade estrutural, os materiais termofixos são utilizados em diversas indústrias, como elétrica, naval, automotiva e aeroespacial, onde substitui cada vez mais os materiais pesados, como metais. Já matrizes termoplásticas são mais usadas nas indústrias de brinquedos, calçados,

eletrônicos, materiais medicinais, indústria automotiva, entre as outras diversas aplicações (GONÇALVES, 2021). Na Tabela 2, estão dispostas as principais características e propriedades de cada matriz polimérica.

Tabela 2 - Principais diferenças de características entre as matrizes termofixas e termoplásticas.

CARACTERÍSTICA	TERMOFIXOS	TERMOPLÁSTICOS
Estrutura molecular	Cruzadas, com ligações fortes entre as cadeias.	Linear, com ligações fracas entre as cadeias.
Mecânica	Rígido e frágil. Pouco resistente ao impacto.	Flexível e elástico. Resistente ao impacto.
Reciclabilidade	Não reciclável.	Reciclável através de submissão ao calor e pressão.

FONTE: Adaptado de GONÇALVES, 2021.

3.1.1.1 Resina Poliéster

Dentre as matrizes termorrígidas, as resinas poliéster são de um grupo de polímeros obtidos a partir da reação de ácidos orgânicos e etileno ou propileno glicol. Ao final desta reação, são produzidos os ésteres, moléculas de cadeias longas e lineares. O tipo de ácido envolvido na reação influencia diretamente nas propriedades finais da resina, podendo ser produzidas resinas poliéster ortoftálicas, isoftálicas e teraftálica. Ainda, necessita apenas que um componente seja insaturado para se obter uma resina insaturada, ou seja, com uma ligação dupla reativa entre os átomos. (SOUZA, 2019).

A síntese da resina poliéster acontece a partir de uma reação de polimerização por condensação em etapas, sendo a reação de um álcool com um ácido formando éster e água (reação de esterificação). Se a reação acontecer com um diálcool e um diácido, o resultante apresentará vários grupos éster, originando um poliéster (SOUZA, 2019).

Na Tabela 3, estão apresentados os tipos de resina poliéster e suas principais diferenças.

Tabela 3 - Tipos de resina poliéster e suas principais diferenças.

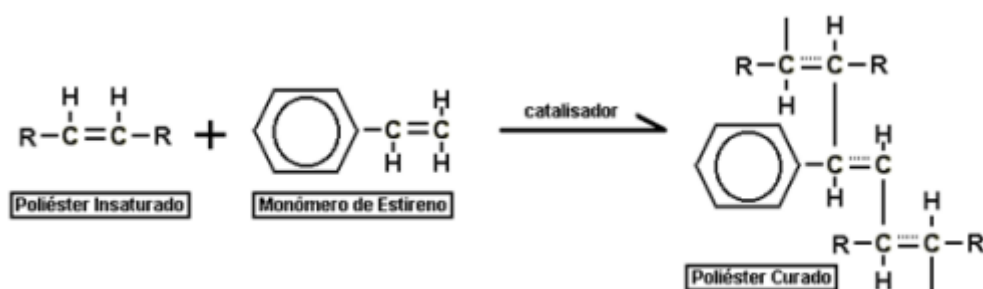
TIPO	CARACTERÍSTICAS
Teraftálica	Boa resistência física e baixa resistência à raios UV.
Ortoftálica	Menor custo e a mais comum utilizada.
Isoftálica	Melhores propriedades físicas e térmicas entre as demais.

FONTE: Adaptado de SOUZA, 2019.

Para a cura de resinas poliéster com ligações duplas reativas entre seus átomos, são utilizados catalisadores do tipo peróxido ou pela adição de calor, que aceleram a reação para resultar na transformação de um líquido em um sólido. Usar um catalisador do tipo peróxido faz com que o poliéster se dissocie formando um radical livre, para reagir com uma molécula de monômero, geralmente estireno. Após a cura, obtém-se um polímero tridimensional termoestável, que não pode ser revertido com aquecimento (FERREIRA, 2006).

A Figura 4 ilustra a reação entre o poliéster insaturado e o monômero de estireno, catalisado pelo peróxido.

Figura 4 - Representação da reação de polimerização da resina poliéster.



FONTE: Adaptado de SOUZA, 2019.

Tabela 4 - Propriedades da resina poliéster.

PROPRIEDADES	VALORES
Densidade	1100 a 1400 Kg/m ³
Resistência à Tração	34 a 100 MPa
Módulo de Elasticidade	2100 a 4400 MPa

FONTE: Adaptado de GOMES, 2015.

Uma das principais vantagens do uso e aplicação das resinas poliéster é a resistência a ambientes quimicamente agressivos, altas propriedades elétricas, cura à frio, facilidade em pigmentação, além da possibilidade de utilização de moldes de baixo custo e básicos para a fabricação de materiais compósitos (GONÇALVES, 2021). A Tabela 4 destaca algumas propriedades importantes da resina poliéster.

3.1.1.2 Resina Poliéster Ortoftálica

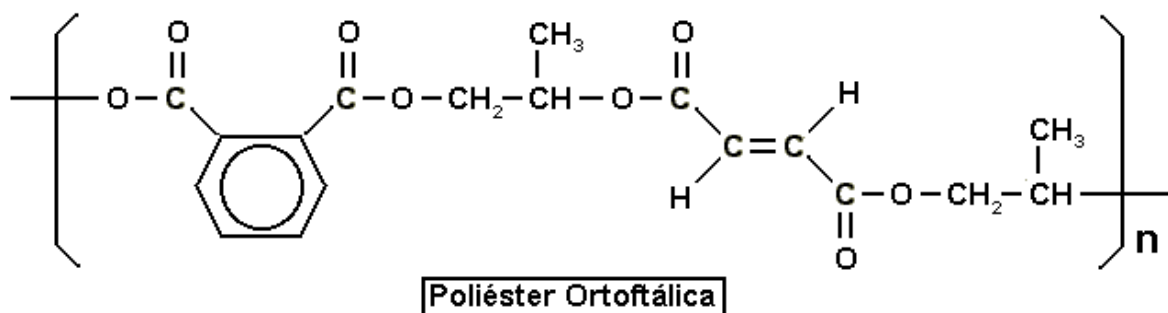
A resina poliéster ortoftálica é o tipo mais comum, devido ao menor custo entre os demais tipos de resina desta classe. Em sua composição, está o ácido ftálico, comumente conhecido como ácido ortoftálico. Sua aplicação se dá nos mais diversos materiais que não necessite de alta resistência química, como reservatórios de água, peças para automóveis, telhas, reservatórios de água, peças de embarcações, entre outras (GONÇALVES, 2021).

Segundo Souza (2019), entre as resinas poliéster, a ortoftálica é que apresenta maior resistência à tração e ao impacto, é menos viscosa, com menor resistência química e é a mais rígida. Suas propriedades mecânicas e químicas são ligeiramente inferiores às das demais resinas poliéster, devido à dificuldade de se obter polímeros de altos pesos moleculares.

O tempo de gel em resinas poliéster ortoftálicas é mais longo. Portanto, é sempre importante conhecer o controle da resina que se deseja, para que sejam utilizados os aditivos (catalisador e inibidor) em teores adequados. Para se obter a polimerização da resina com um controle de tempo, permitindo que o material possa ser aplicado e trabalhado antes que se inicie a cura (GORNINSKI, 2002).

Na Figura 5, está apresentada a cadeia molecular de uma molécula de resina ortoftálica.

Figura 5 - Representação de uma molécula de resina poliéster ortoftálica.



FONTE: Adaptado de SOUZA, 2019.

3.2 Fibras Sintéticas

Segundo Marques (2016), todas as fibras que são obtidas a partir de processos industriais são chamadas de fibras não naturais. Estas, podem ser subdivididas em fibras de origem artificial e fibras de origem sintética. Para se obter uma fibra de origem artificial, é necessária a utilização de polímeros naturais, por exemplo a celulose, como matéria-prima. Como classificação de fibras não naturais artificiais, podem ser citadas: a celulose, o acetato, a viscose, o Lyocel e o Modal.

Já as fibras não naturais de origem sintética são produzidas utilizando materiais inorgânicos como matéria-prima, por exemplo o vidro e os metais. Entre todas as fibras sintéticas, a maior parte é obtida utilizando-se como matéria-prima polímeros sintéticos, a partir de reações de polimerização. Como exemplo de fibras sintéticas estão o poliéster, o nylon, a lycra e o polipropileno (AMORIM, 2018).

Desde o início do conhecimento da estrutura dos polímeros, os cientistas aplicaram seu tempo em pesquisar estruturas que pudessem substituir as fibras naturais utilizadas na época. A ideia se deu a partir da necessidade de obter materiais de melhores propriedades, com matéria-prima de baixo custo e o principal, tornar a produção totalmente independente das épocas das colheitas (MARQUES, 2016).

As fibras sintéticas que possuem substâncias orgânicas em suas composições são as conhecidas fibras sintéticas orgânicas. Já as demais, obtidas através de compostos inorgânicos, como os metais, são as denominadas fibras sintéticas inorgânicas (DARROS, 2013). Na Tabela 5, está apresentada a classificação das fibras sintéticas e alguns exemplos.

Tabela 5 - Classificação das fibras sintéticas e exemplos.

ORGÂNICAS	INORGÂNICAS
Aramidas	Vidro
Poliamida	Carbono
Polietileno	Kevlar

FONTE: Adaptado de DARROS, 2013.

3.2.1 Fibra de Vidro

Dentre às fibras sintéticas, a fibra de vidro é a mais utilizada, devido ao baixo custo e boa oferta no mercado. Sendo aplicada em praticamente todos os segmentos industriais, como indústrias civil, elétrica, automobilística e aeronáutica. A produção de fibra de vidro iniciou na Grécia e no Egito, há aproximadamente 250 a.C., quando artesãos passaram a utilizar varas de vidro aquecida para decorar a superfície de produtos acabados com relevo (FONTES, 2013).

Atualmente, para a produção de fibras de vidro, o vidro é aquecido e moldado por forças gravitacionais, utilizando mandril de platina. Como o mandril possui, em média, 200 canais, são produzidas 200 fibras simultâneas, com diâmetro entre 5 e 20 microns. Entretanto, o processo atual de fabricação surgiu poucos anos antes da Segunda Guerra Mundial, tornando o uso da fibra de vidro em grande escala após este período histórico (DARROS, 2013).

O principal constituinte da fibra de vidro é o item principal dos vidros, o Dióxido de Silício (SiO_2), também popularmente conhecido como sílica. Devido à sua alta viscosidade e elevada temperatura de fusão, são acrescentados durante o processo de fabricação da fibra de vidro alguns óxidos metálicos, para auxiliar no processamento e se obter as propriedades de interesse. Como exemplo dos óxidos metálicos e as características que deseja alcançar, pode-se citar (FONTES, 2013):

- Alumina (Al_2O_3) – aumentar propriedades químicas e mecânicas;
- Trióxido de Boro (B_2O_3) – melhorar a resistividade elétrica;
- Óxido de Sódio (Na_2O), Óxido de Potássio (K_2O) e Óxido de Lítio (Li_2O) – melhorar a fluidez e diminuir a temperatura de fusão.

As principais propriedades da fibra de vidro são o baixo peso, baixo custo, altas propriedades mecânicas, alta durabilidade e fácil fabricação. Ainda, pode-se ressaltar que as fibras de vidro não sofrem ataques biológicos, devido a boa resistência ao ataque de produtos

químicos e não é inflamável. Os materiais produzidos com esta matéria-prima carregam consigo as propriedades, portanto são ótimos isolantes térmicos e elétricos, possuem vida útil longa, não absorvem umidade, são anticorrosivos e possuem boa estabilidade dimensional (SOUZA, 2019).

3.3 Fibras Naturais

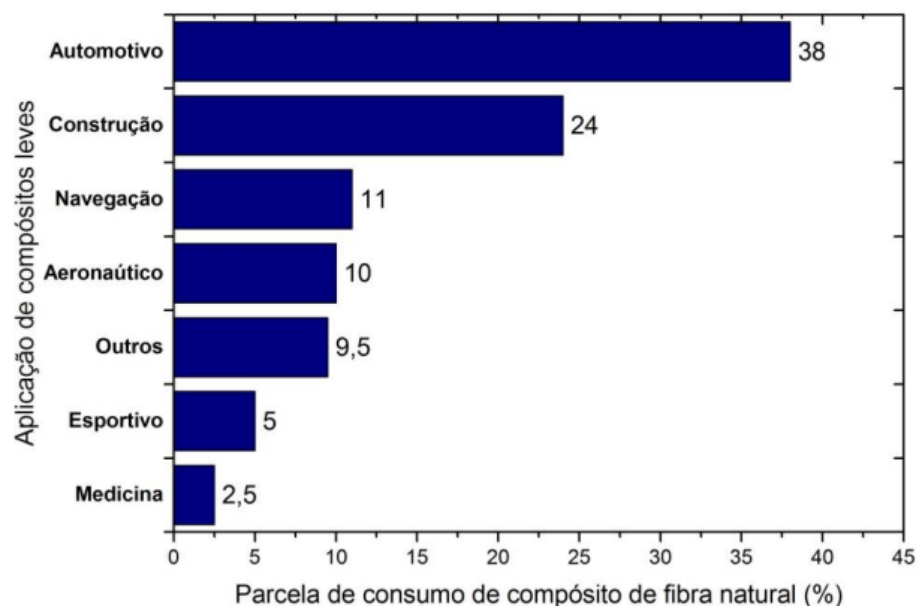
Apesar das qualidades destacáveis das fibras sintéticas em compósitos, seu uso gera diversos problemas ambientais e econômicos. Visto que a fibra de vidro apresenta custos elevados e sua produção está diretamente ligada às emissões de CO₂. Como alternativa para os efeitos ambientais nocivos que as fibras sintéticas causam, tem sido crescente o estudo para aplicação de fibras naturais lignocelulósicas como reforço de compósitos poliméricos (PEREIRA, 2015).

Segundo Mittal et al (2016), nos últimos anos, diversos estudos utilizando fibras naturais em matriz de compósitos naturais foram desenvolvidos. Dentre as principais fibras, pode-se citar: sisal, juta, bambu, banana, seda, coco e cana de açúcar.

O grande ganho de se utilizar as fibras naturais é de serem encontradas em abundância, não tóxicas, biodegradáveis, de fontes renováveis e que, além de tudo, são resistentes, bastante flexíveis, de baixa densidade e de baixo custo (MARINELLI et al., 2008). Ainda, há o incentivo de desenvolvimento autossustentável, visto que as fibras naturais geram fontes de renda para famílias de países em desenvolvimento, estimulando o cultivo de não-alimentícios. Dessa maneira, são as principais candidatas para substituir as atuais fibras sintéticas (MONTEIRO et al, 2009).

Na Figura 6, estão apresentados setores onde se aplicam fibras naturais e suas porcentagens de consumo.

Figura 6 - Porcentagem de aplicação de fibras naturais em diferentes setores.



FONTE: RIBEIRO, 2018.

Dentre os mais diversos benefícios de se aplicar as fibras naturais em materiais compósitos, pode-se destacar a neutralidade em dióxido de carbono (CO_2). Pois durante a incineração das fibras naturais, apenas uma quantidade mínima de CO_2 retorna para o ambiente, valor esse muito semelhante ao consumido durante o seu período de crescimento, não contribuindo negativamente para o aquecimento global (ORNAGHI JUNIOR, 2009).

A evolução científica dos estudos e aplicabilidade de compósitos reforçados com fibras naturais se deve às propriedades que o material final apresenta. O principal impasse da interação e adesão entre o reforço natural e a matriz se dá devido à baixa resistência a ataques químicos que as fibras apresentam e também à alta absorção de água. Quando existe uma discordância na adesão, a interface entre os materiais é a região que fica mais suscetível a falhas e rachaduras, comprometendo o desempenho mecânico do compósito (LION FILHO, 2013).

As fibras naturais vegetais, conhecidas como fibras lignocelulósicas, podem ser determinadas a partir da região da planta em que elas foram extraídas. Estas classificações podem ser: fibras de folhas, caule, frutos e sementes. Como exemplo das fibras de caule, pode-se citar o linho, a cana de açúcar, o bambu, a juta, etc. Já para as fibras de folhas, tem-se o sisal, a banana, o abacaxi, entre outras. Por fim, como fibras de frutos, o coco, e de sementes, o algodão (SOUZA, 2019).

Segundo Lion Filho (2013), a denominação de “lignocelulósicas” para as fibras naturais vegetais se dá devido à sua estrutura de composição apresentar celulose, hemicelulose e lignina, além de sais inorgânicos, substâncias nitrogenadas e corantes naturais. A celulose é um integrante básico no que se refere às propriedades físicas das fibras. Como consequência da estrutura fibrosa da celulose, tem-se alta resistência à tração e é insolúvel a uma grande parte de solventes.

De acordo com Ribeiro (2018), as fibras naturais vegetais são hidrofílicas e não são compatíveis com polímeros hidrofóbicos. Ainda, duas substâncias encontradas na fibra vegetal agem como uma barreira na ligação entre a fibra e a matriz, sendo elas a pectina e cera. A característica hidrofílica das fibras naturais vegetais interfere no comportamento de absorção de água de um compósito produzido com fibra natural, aumentando a porcentagem de água a ser absorvida.

Entretanto, a baixa adesão na ligação fibra-matriz pode ser alavancada através de tratamentos para remover a pectina, lignina e as impurezas presentes na fibra natural. Estes tratamentos podem ser físicos, feitos com tratamento de plasma a frio, ou químicos, aplicando hidróxido de sódio, isocianatos ou anidrido maléico (RIBEIRO, 2018).

3.3.1 Fibra de Juta

De todas as fibras naturais, a que mais apresenta fontes de fibras lignocelulósicas é a fibra de juta. A juta (*Corchorus capsularis*) é uma planta herbácea, que floresce entre 4 e 5 meses após ser semeada. Originária da Índia, seu cultivo predomina em regiões de altas temperaturas, com clima quente e úmido, o que favorece sua fermentação e consequentemente a maceração, que acontece entre 8 e 10 dias (SILVA, 2014).

Entre os anos de 1950 e 1980 a fibra de juta foi introduzida no Brasil, com seus principais cultivos sendo no Amazonas, Pará e São Paulo. Atualmente, a maior produção acontece no Norte do país, em comunidades ribeirinhas. O cultivo da Juta é uma das principais atividades econômicas da região amazônica, evitando o êxodo rural e sendo responsável por mais de 200 mil famílias no campo (MITTAL et al, 2016).

É nas margens dos Rios Solimões e Amazonas que acontece o plantio da juta no Brasil. A cheia dos rios é a responsável por limpar o terreno para que possa ser plantada. Ainda, não se faz necessário o uso de fertilizantes químicos, pois a lama gerada serve como fertilizante

natural na região. Após florescer, a planta atinge uma altura de aproximadamente 4 metros. O processo de extração é feito por maceração da fibra útil, a qual é retirada entre a casca e o talo interno, no caule. Após a colheita, em curto período de tempo novas plantas começam a crescer (RIBEIRO, 2018). A Figura 7 apresenta a plantação da juta e a população ribeirinha colhendo para posterior tratamento e preparo da fibra natural.

Figura 7 - Plantação de Juta e sua colheita por populações ribeirinhas.



FONTE: Revista Globo Rural, 2010.

O uso de fibra de juta em compósitos poliméricos apresenta valores moderados de resistência à tração e flexão quando comparados com os valores de outras fibras naturais. Porém, seu uso não se torna impróprio ou limitado. Compósitos poliméricos reforçados com fibra natural de juta podem ser aplicados em elementos interiores ou em aplicações temporárias que estejam sujeitas às intempéries. Ainda, o poder de isolamento da juta faz com que seu uso seja bastante indicado em portas e tetos automotivos, bases de isolamento do motor, compartimento para armazenar bagagens de passageiros, assoalhos de automóveis, entre outras aplicações (SILVA, 2014).

3.4 Compósitos Híbridos

Biocompósitos geralmente não apresentam as características mecânicas necessárias para a aplicação desejada. Assim, passou a ser bastante estudada a junção de tipos diferentes de reforços ou matrizes a fim de se obter uma melhor característica mecânica. O processo de se

fabricar um compósito utilizando mais de um tipo de carga ou mais de um tipo de matriz torna este compósito conhecido como híbrido. Ou seja, é a combinação de reforços de diferentes fibras ou tipos de fibras para se produzir um material. Estudos comprovam que compósitos híbridos possuem melhores desempenhos do que os compósitos produzidos apenas com um único tipo de fibra (CALLISTER, 2016).

Diversos podem ser os tipos de fibras e de materiais para a matriz combinados para se obter um compósito híbrido. No geral, o mais comum é incorporar fibra de carbono com fibra de vidro em matriz polimérica. Devido ao alto custo da fibra de carbono, se torna viável reduzir a porcentagem da sua composição completando com fibra de vidro, que apresenta menor custo e uma melhor resistência ao impacto. Desta maneira, obtém-se um produto final sem perder as características e propriedades desejadas (SOUZA, 2019).

Para determinar o comportamento que um material híbrido vai apresentar, basta fazer a média ponderada simples das propriedades dos componentes individuais. Porém, é importante balancear a porcentagem da composição que será colocada, de acordo com as vantagens e desvantagens que cada compósito que está envolvido apresenta (PEREIRA, 2015). Os compósitos híbridos podem ser aplicados, principalmente, em componentes estruturais de transporte, como carro, ônibus, aviões, embarcações, além de equipamentos esportivos e ortopédicos (CALLISTER, 2016).

Polímeros reforçados com fibras naturais apresentam bom desempenho quando hibridizados com fibra de vidro. Diversos estudos em literaturas que discutem estes tipos de materiais apresentam um ganho de propriedades mecânicas, como resistência ao impacto e isolamento acústico, quando se une fibras naturais com fibras de vidro, apresentando também uma considerável redução do peso final do compósito (ORNAGHI JUNIOR, 2009).

Os estudos de Amorim (2018) demonstram que a combinação de fibras naturais e não naturais utilizadas como reforço em matrizes poliméricas são alvo de bastante interesse recentemente. Devido aos baixos custos, boa rigidez, baixa densidade e boa biodegradabilidade das fibras naturais torna-se uma matéria-prima ideal para a aplicação em materiais compósitos.

3.5 Processos Produtivos de Materiais Compósitos

A fabricação de materiais compósitos pode acontecer de diversas maneiras. A versatilidade produtiva em que estes materiais se adequam faz com que se tornem

potencialmente importantes e que sejam foco de diferentes tipos de desenvolvimentos. Os principais processos a serem citados são: HLU (*Hand lay-up*), RTM (*Resin Transfer Molding*) e *Spray-up* (ORNAGHI JUNIOR, 2009).

O método produtivo de *Hand lay-up* é o mais antigo e mais comum utilizado em produções fabris com pequena demanda ou com peças grandes e com muitas angulações. Este método se baseia em um molde aberto, onde é colocada a manta (formada por fibras curtas ou longas) e, em seguida, é derramada a resina. O *spray-up*, possui etapas muito parecidas, onde uma mistura de resina líquida e pedaços de fibras curtas são aplicados sobre o molde com um spray. Em ambos os métodos citados, após a resina penetrar os núcleos da manta, é utilizado um rolo metálico sobre a superfície, para uniformizar a camada e remover o excesso de resina, impedindo a formação de bolhas e deformações na peça (CAVALCANTI, 2018).

O processo produtivo de materiais compósitos por transferência de resina através de um molde (RTM) acontece em um sistema que contém um molde e um contramolde, pré-aquecidos ou não. Sobre o molde é colocada a manta de fibras longas e, em seguida, coloca-se o contramolde. Um sistema de mangueiras de vácuo retira todo o ar contido no interior e o processo de injeção de resina é iniciado. Este método é muito utilizado para peças relativamente simples, podendo ser grandes ou pequenas, mas que não apresentem regiões com muitos ângulos (ORNAGHI JUNIOR, 2009).

A maior vantagem de se utilizar um sistema de molde e contramolde está na agilidade do processo. Os colaboradores envolvidos apenas colocam a manta sobre o molde e acionam o sistema de vácuo e injeção da resina. Assim, se torna menor o número de mão de obra alocada na produção. Outro ponto importante e que precisa ser citado, é a redução da emissão de gases que são liberados durante a catálise da resina (MAJEWSKI, 2017).

3.6 Compósitos e a Indústria Automotiva

Em meados de 1886 surgia o primeiro carro no mundo e a sua fabricação era baseada completamente em metais. Por muito tempo os consumidores precisaram conviver com as desvantagens de oxidação e o peso elevado dos carros. Com o passar dos anos e os avanços tecnológicos, polímeros passaram a fazer parte dos componentes básicos no setor automotivo. Os consumidores passaram a ser mais exigentes com os produtos que comprem e não esperam menos do que um carro que apresente alta performance, segurança, conforto, economia, preço

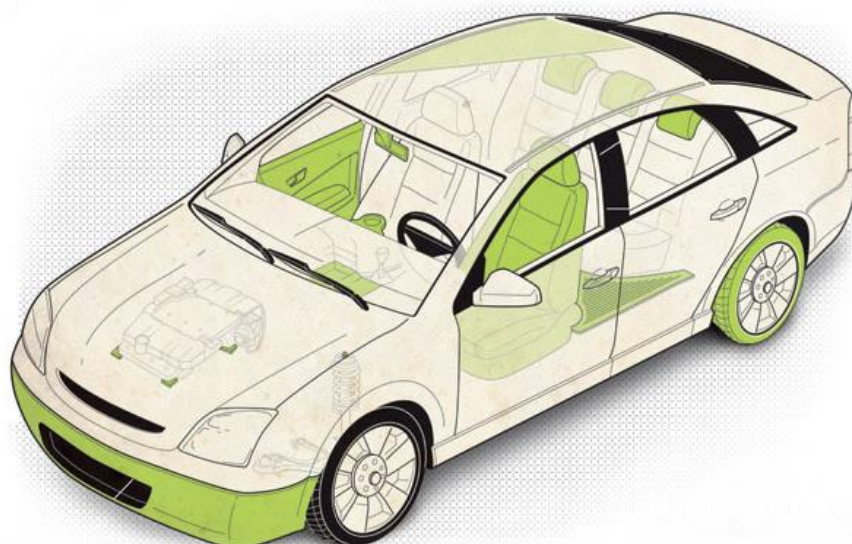
competitivo e, no balanço final, que todas estas necessidades e vontades respeitem o meio ambiente (HEMAIS, 2003).

Diversas são as aplicações de compósitos na indústria automotiva. Compósitos de matriz polimérica com fibras são usados para a fabricação de itens internos de carros, como apoio de porta, tampão do porta-malas, quebra sol, parte interna do teto, revestimento das portas, painel de instrumentos, porta copos, console, etc. Ainda, muitas vezes são aplicados em peças externas, como tampas, para-choques, pneus e cúpulas, tanto frontais como traseiras, e teto (AMORIM, 2018).

De maneira representativa, a Figura 8 demonstra partes internas e externas de um automóvel que podem ser produzidas utilizando fibras naturais. Como exemplo dos itens e suas possíveis composições com fibras naturais, podemos citar (AMORIM, 2018):

- Pneus: óleo da casca da laranja, substituindo a borracha sintética;
- Para-choques: bagaço de cana-de-açúcar ou fibra de juta;
- Bancos e encostos de cabeça: fibra de coco usada no enchimento;
- Teto e carpetes: fibra de curauá.

Figura 8 - Partes de um carro que podem ser produzidas utilizando fibras naturais.



FONTE: Revista Globo Rural, 2011.

Atualmente, as indústrias automotivas estão sendo, cada dia mais, pressionadas a reduzir o peso dos componentes dos seus veículos e, conseqüentemente, os consumos energéticos. O

conceito do *eco design* ou desenvolvimento sustentável ganhou uma grande importância, principalmente devido à escassez de matéria-prima e aos problemas resultantes da degradação ambiental, o que resulta cada vez mais na tentativa de incorporar, nos produtos atuais existentes no mercado, materiais de baixo impacto ambiental e de grande abundância na natureza (VARELA, 2017).

O estudo de Cavalcanti (2018) cita um levantamento sobre a indústria automobilística na Universidade do Porto (Portugal), no ano de 2010. Neste estudo, é apresentada a substituição de polímeros 100% sintéticos, baseados principalmente na composição de polipropileno e polietileno na fabricação de peças que compõem partes dos carros. Porém, ao se aplicar um reforço de fibras naturais, a cada 300 kg de materiais comuns, apenas 100 kg passam a ser polímeros, o que resulta na redução de custos no processo produtivo, sem interferir na qualidade final das peças. Entretanto, caso o volume das fibras não seja dimensionado na porcentagem correta, pode haver uma redução das propriedades mecânicas, tornando maior a quantidade de falhas e trincas na peça.

As fibras naturais apresentam um grande potencial de aplicação na indústria automobilística, na área de revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões. A utilização de fibras vegetais como material de reforço, ou mesmo como matéria-prima principal na substituição de produtos derivados do petróleo, tem despertado interesse de empresas e pesquisadores de diversos ramos de atuação em resposta a preservação ambiental (CAVALCANTI, 2018).

A Volvo Cars, empenhada em buscar alternativas sustentáveis para os materiais utilizados em seus automóveis, informou a mídia em maio de 2022 sobre o investimento em uma empresa suíça que desenvolve materiais leves, com alta resistência, utilizando a base de fibras naturais. A marca possui a meta de inserir 25% de fibras naturais nos materiais que constituem seus novos modelos de carros até 2025, focando seu esforço na sustentabilidade. Ainda, a empresa contratada para o estudo apresentou cálculos de redução de 50% do peso final do carro, com 62% menos emissões de CO₂. As peças foram inseridas no interior dos carros, como apoio de cabeça e apoio para os pés, e na parte exterior nos para-choques dianteiro e traseiro (NEWS CISION, 2022).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

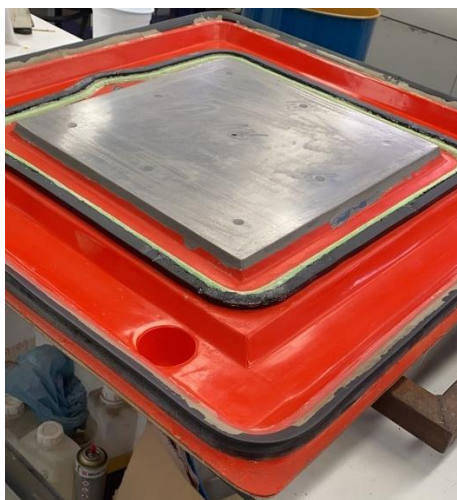
Para a realização dos testes, foram utilizados molde e contramolde empregados na produção de peças automotivas, os quais possuem um sistema de aquecimento por serpentinas, mantidos pré-aquecidos à 60 °C.

Figura 9 - Molde aquecido utilizado para a produção dos corpos de prova.



FONTE: A autora, 2021.

Figura 10 - Contramolde de alumínio, com vedação de borracha.



FONTE: A autora, 2021.

O sistema de aquecimento é utilizado para diminuir o tempo de cura da resina, minimizando o tempo de processo, e também para se obter uma peça com melhor acabamento.

A Figura 9 e Figura 10 representam as partes internas do molde e do contramolde utilizados na produção da peça para teste, enquanto a Figura 11 demonstra a parte externa do sistema de aquecimento com as manguueiras.

Figura 11 - Sistema de aquecimento do molde e contramolde por serpentinas.



FONTE: A autora, 2021.

4.1 Injeção de Resina

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário o molde da peça escolhida para teste, gel coat, um rolo de Fibra de Juta e resina poliéster ortoftálica. O molde e contramolde foram devidamente preparados com desmoldante e então, manteado com a fibra natural de Juta, seguindo as etapas de produção. O processo utilizado para a produção desta peça foi o RTM.

Na Figura 12, está representado o processo de manteamento, onde o excesso de manta é recortado, para uma menor geração de resíduo e melhor fechamento do molde.

Em seguida, o molde foi fechado e deu-se início ao processo de injeção da resina. Decorridos 20 minutos entre o tempo de injeção da resina e o tempo de espera para o material catalisar e curar, o molde foi aberto e a peça sacada.

Para a produção do compósito híbrido de fibra natural reforçado com fibra de vidro, utilizou -se a fibra natural de juta e tecido de fibra de vidro. Todas as etapas do processo anterior

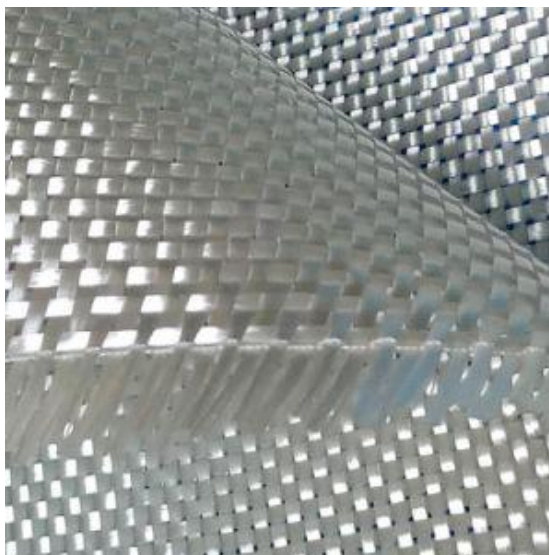
foram repetidas para este teste. A primeira camada foi feita com o tecido de fibra de vidro, conforme Figura 13 e, em seguida, manteado com a fibra natural de Juta, conforme Figura 14.

Figura 12 - Molde manteado com fibra natural de juta.



FONTE: A autora, 2021.

Figura 13 - Tecido de Fibra de Vidro utilizado como reforço.



FONTE: A autora, 2021.

Figura 14 - Manta de fibra natural de Juta reforçada com tecido de fibra de vidro.



FONTE: A autora, 2021.

4.2 Ensaios Mecânicos

Para avaliar o desempenho mecânico das peças produzidas, foram realizados ensaios de tração e flexão. Os ensaios mecânicos são de extrema importância para o planejamento de diversos materiais, pois o desempenho do produto final é determinado nos testes e revela como será o seu comportamento em condições de uso.

O objetivo do ensaio de tração é determinar o módulo de elasticidade, resistência à tração e o limite de ruptura. Este ensaio consiste em se aplicar uma força axial no corpo de prova, que tende a alongá-lo até atingir a ruptura.

Já o ensaio de flexão, tem como objetivo determinar o módulo de flexão e a força da flexão. E consiste na aplicação de uma carga centralizada sobre o corpo de prova, o qual fica apoiado horizontalmente pelas extremidades, até a ruptura.

Ao se utilizar a máquina universal de ensaio mecânico, todos os dados que são obtidos durante o desempenho do corpo de prova são computados pelo próprio sistema da máquina, gerando a plotagem automática dos gráficos para posterior análise. Para os ensaios apresentados neste trabalho, utilizou-se a Máquina de Ensaios Mecânicos Kratos linha KE, conforme Figura 15.

Figura 15 - Máquina de Ensaio Mecânicos Kratos linha KE utilizada nos testes.



FONTE: KRATOS Equipamentos, 2022.

Na Figura 16, estão representados os corpos de prova que foram produzidos para submeter aos ensaios de tração e flexão. O corpo de prova deve seguir a norma dos ensaios, cortados exatamente na mesma medida e o formato.

Figura 16 - Corpos de prova para os ensaios mecânicos. a) Corpos de prova para ensaios de tração. b) Corpos de prova para ensaio de flexão.



a)



b)

FONTE: A autora, 2021.

4.3 Análises Físicas Visuais

Para avaliar as peças produzidas, análises visuais foram feitas para verificar a qualidade e as características da peça pronta. Para isso, peças usuais em ônibus foram comparadas com as peças produzidas de maneira híbrida com fibra natural de juta.

Ainda, para validação do uso destas peças, foram escolhidos itens internos e externos de ônibus, em uma indústria encarroçadora na cidade de Botucatu – SP. As peças escolhidas para teste foram porta-copos, apoio de braços, encosto de cabeça, tampas de acesso a manutenções, caixa de dinheiro do cobrador e tampa de áudio.

Figura 17 - Itens representativos que foram substituídos por peças produzidas de maneira híbrida para teste.

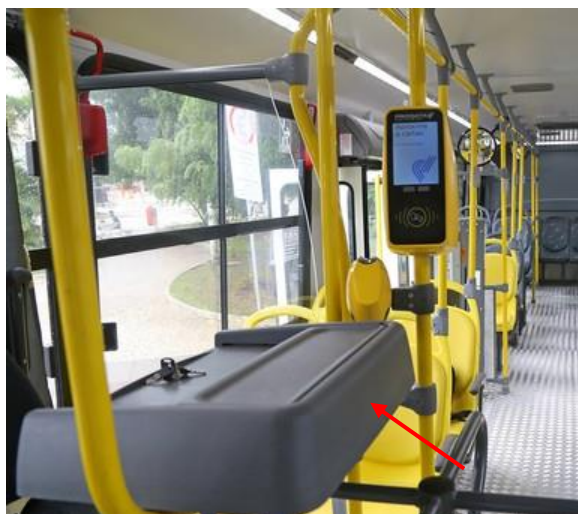


FONTE: UNIBUS RN, 2019.

Os ônibus com as peças de teste foram para rodagem nos clientes e foram acompanhados durante 3 meses. Como prevenção, foram colocados em rastreo pelo setor de pós-vendas, para melhor acompanhamento.

A Figura 17 e Figura 18, são representações ilustrativas de alguns itens que foram testados.

Figura 18 - Imagem representativa de um porta dinheiro que foi escolhido para teste com peça produzida de maneira híbrida.



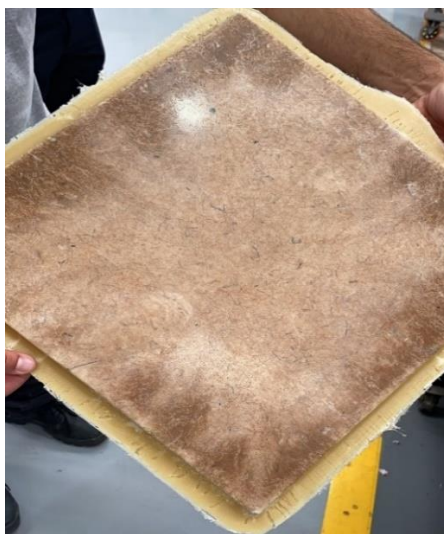
FONTE: UNIBUS RN, 2019.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Injeção de Resina

Após a injeção de resina e aguardado o tempo de cura total, a peça foi sacada do molde. A Figura 19 e Figura 20 representam as peças sacadas.

Figura 19 - Peça produzida com manta de fibra natural de Juta.



FONTE: A autora, 2021.

Figura 20 - Peça produzida com manta de Fibra Natural de Juta reforçada com Tecido de fibra de Vidro.



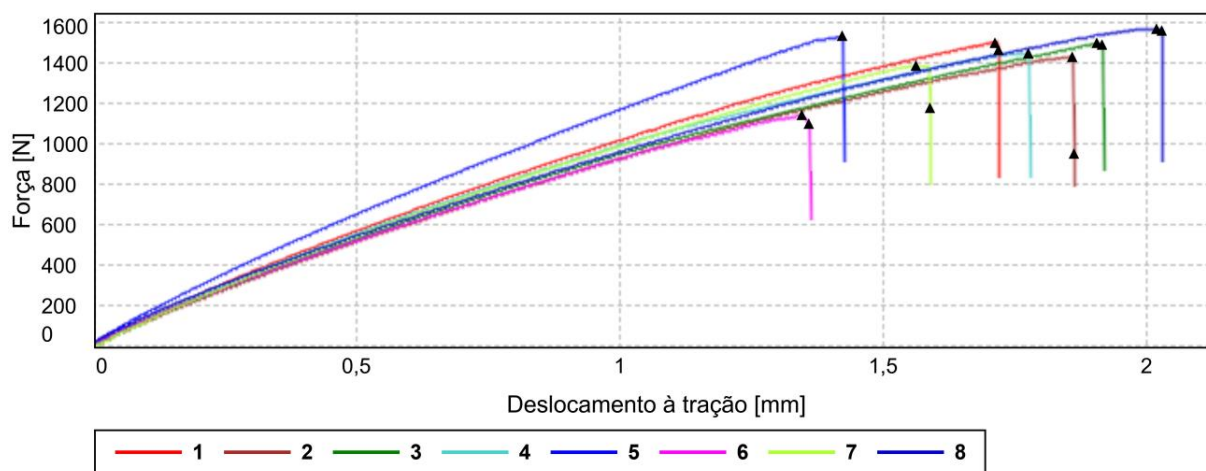
FONTE: A autora, 2021.

A partir de análises visuais, pode-se notar que ambas as peças apresentam as mesmas características. Ou seja, o processo de reforçar com fibra de vidro não interfere no visual final.

5.2 Ensaio de Tração

Durante os ensaios de tração, foram obtidas as curvas referentes aos comportamentos de cada amostra. Na Figura 21, está disposto o comportamento do corpo de prova produzido apenas com fibra natural de juta, que possui seus dados referentes apresentados na Tabela 6.

Figura 21 - Gráfico resultante do ensaio de tração, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta.



FONTE: A autora, 2021.

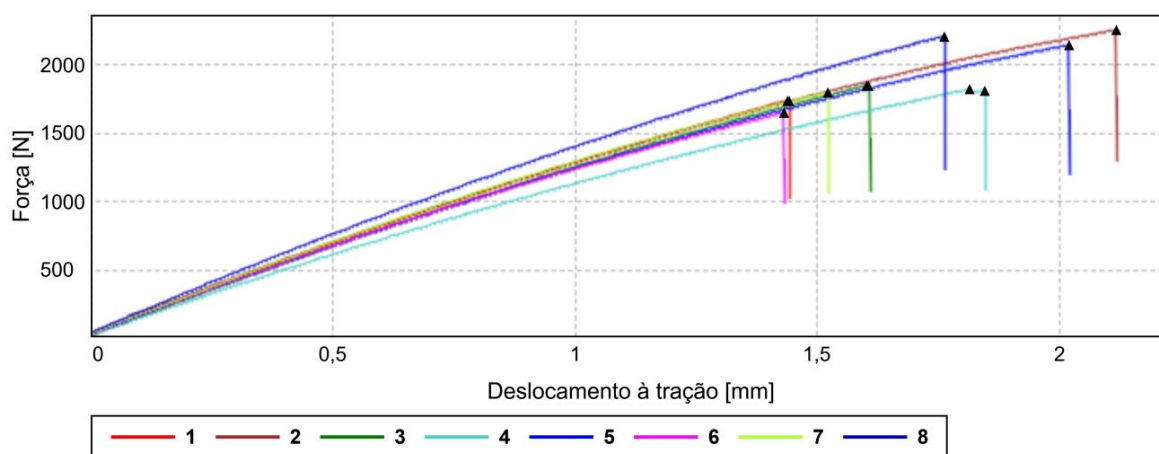
Tabela 6 - Resultados do ensaio mecânico de tração com corpos de prova de manta de fibra natural de juta.

	Tensão à Tração [MPa]	Força Máxima [N]	Deslocamento [mm]	Tempo em Break [min]
1	22,67	1502,52	1,71	0,86
2	21,60	1433,96	1,86	0,93
3	20,55	1495,87	1,91	0,96
4	20,29	1448,80	1,78	0,89
5	22,43	1530,97	1,42	0,71
6	15,06	1142,05	1,35	0,68
7	18,66	1386,55	1,56	0,80
8	21,02	1569,15	2,02	1,01
Média	20,29	1438,73	1,70	0,85

FONTE: A autora, 2021.

Já na Figura 22, está o comportamento gráfico do corpo de prova híbrido, com seus dados obtidos durante os ensaios dispostos na Tabela 7.

Figura 22 - Gráfico resultante do ensaio de tração, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro.



FONTE: A autora, 2021.

Tabela 7 - Resultados do ensaio mecânico de tração, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro.

	Tensão à Tração [MPa]	Força Máxima [N]	Deslocamento [mm]	Tempo em Break [min]
1	45,90	1743,44	1,44	0,72
2	56,43	2257,61	2,12	1,06
3	50,06	1852,97	1,60	0,80
4	51,88	1820,07	1,81	0,92
5	60,70	2145,23	2,02	1,01
6	43,91	1651,81	1,43	0,71
7	44,93	1800,38	1,52	0,76
8	60,20	2212,41	1,76	0,88
Média	51,75	1935,49	1,71	0,86

FONTE: A autora, 2021.

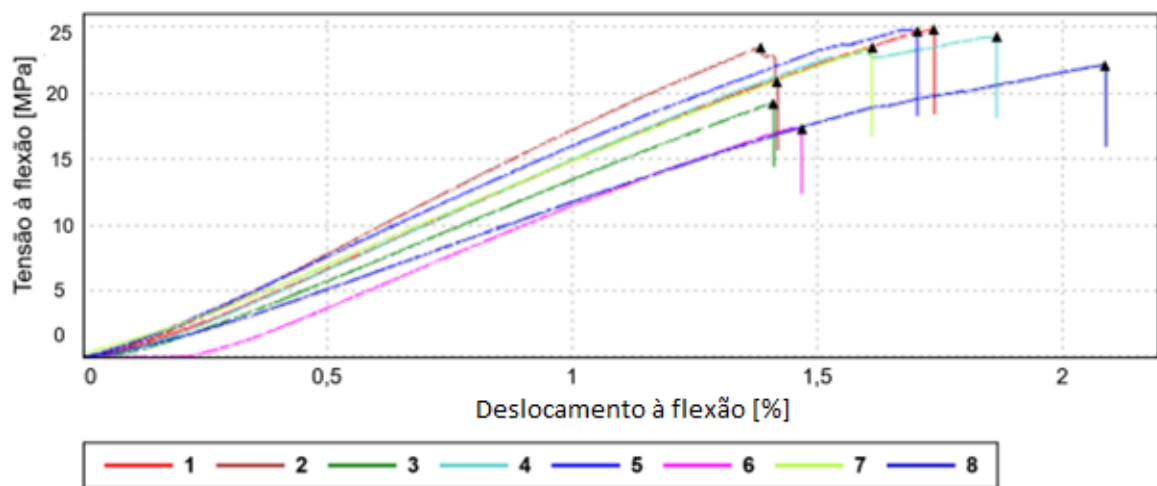
Fazendo um comparativo dos comportamentos gráficos dos corpos de prova, pode-se notar que o desempenho da amostra feita de maneira híbrida, com fibra natural de juta reforçado

com tecido de fibra de vidro se apresenta mais eficaz. Sendo que os resultados de tensão à tração do ensaio mecânico da amostra de manta de fibra natural de juta apresentam valores aproximadamente 2,5 vezes menor que os valores do ensaio utilizando a amostra híbrida.

5.3 Ensaio de Flexão

A partir dos ensaios com o corpo de prova apenas de fibra natural de juta, foi obtido o comportamento gráfico que se apresenta na Figura 23, com os seus respectivos dados na Tabela 8.

Figura 23 - Gráfico resultante do ensaio de flexão, utilizando corpo de prova de fibra natural de juta.



FONTE: A autora, 2021.

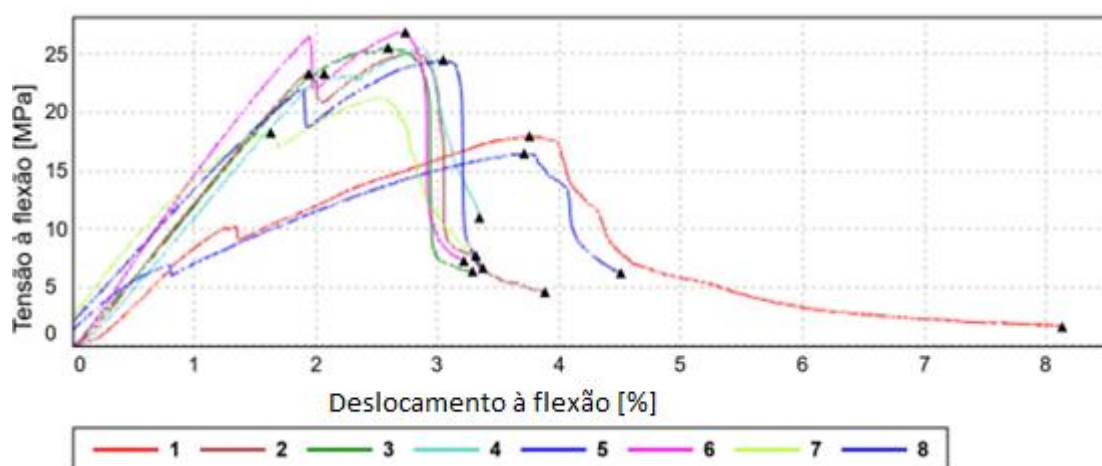
Tabela 8 - Resultados do ensaio mecânico de flexão utilizando corpo de prova de fibra natural de juta.

Corpo de Prova	Resistência à Flexão [MPa]	Tensão de Flexão (deslocamento) [%]
1	24,8	1,74
2	23,4	1,38
3	19,3	1,41
4	24,3	1,86
5	24,8	1,70
6	17,4	1,45
7	23,4	1,61
8	22,1	2,09
Média	22,4	1,65

FONTE: A autora, 2021.

A Figura 24 representa o gráfico com o corpo de prova de fibra natural reforçado com tecido de fibra de vidro e os dados do ensaio estão dispostos na Tabela 9.

Figura 24 - Gráfico resultante do ensaio de flexão, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro.



FONTE: A autora, 2021.

Tabela 9 - Resultados do ensaio mecânico de flexão, utilizando corpo de prova de manta de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro.

Corpo de Prova	Resistência à Flexão [MPa]	Tensão de Flexão (deslocamento) [%]
1	17,9	3,76
2	25,1	2,74
3	25,6	2,60
4	25,6	2,89
5	16,4	3,71
6	26,9	2,73
7	21,3	2,73
8	24,5	3,05
Média	22,9	3,00

FONTE: A autora, 2021.

Fazendo um comparativo dos comportamentos gráficos dos corpos de prova, assim como realizado com os resultados do ensaio de tração, pode-se notar que o desempenho da amostra híbrida de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro apresenta valores muito próximos dos obtidos nos ensaios com a amostra feita apenas com fibra natural.

O comportamento gráfico apenas se difere quando analisado o eixo de deslocamento, onde a amostra feita de maneira híbrida suporta mais tempo até atingir o estresse máximo da força recebida e se romper. Isto é nitidamente apresentado pelas curvas dos comportamentos durante os ensaios. Onde, na Figura 24, as curvas apresentam diferentes estágios até atingir o momento da ruptura, enquanto na Figura 23 são mais retilíneas, rompendo-se em menor tempo.

Quando se trata de peças automotivas, dependendo do local de uso delas, é necessário que os ensaios mecânicos apresentem alto desempenho, já que podem receber esforços que comprometam o material. Entretanto, para alguns locais de aplicação, não há exigência de um material com propriedades mecânicas elevadas, como regiões de porta copos, porta utensílios, gavetas sob o banco do motorista, quebra sol, laterais internas de porta-malas, revestimentos internos de portas e teto, encosto de cabeça dos bancos, etc. Assim, é possível fazer o uso das peças produzidas puramente com fibra de juta e resina.

5.4 Análises Físicas Visuais

Para se utilizar peças em itens automotivos, espera-se que os mesmos possuam características mecânicas e físicas que estejam de acordo com o esperado pelas normas de trânsito e pelo cliente final. Assim, algumas peças foram feitas e aplicadas em itens usados na fabricação em uma indústria encarroçadora de ônibus. Os locais de aplicação foram escolhidos de maneira que não interferisse na qualidade final do ônibus, visto que foram colocados para uso em teste.

Todas as peças foram aprovadas esteticamente, ou seja, mesmo produzidas com fibra natural, não houve interferência nas características físicas visuais, resultando em bom acabamento. Também foram aprovadas em uso, com bom desempenho onde foram aplicadas, não apresentando problemas com fragilidade e durabilidade.

6. CONCLUSÃO

A partir dos estudos aqui apresentados durante as pesquisas em demais trabalhos e livros, é de clara compreensão que os compósitos produzidos com fibras naturais podem ser amplamente empregados nos mais diferentes tipos de indústrias. A indústria automotiva é uma delas, onde podem ser aplicadas peças e itens em caminhões, carros e ônibus sem interferir na qualidade do produto final.

Durante os testes realizados para a elaboração deste trabalho, concluiu-se que as peças produzidas somente com fibra natural de juta e peças produzidas de maneira híbrida com fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro não apresentam diferenças visuais, possuindo acabamento e qualidade. Através de ensaios mecânicos de tração, os valores obtidos para a amostra produzida com fibra natural de juta apresentaram diferença de 2,5 vezes menor que a amostra de fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro. Porém, para o teste de flexão, os valores foram muito próximos. Sendo assim, os resultados comprovam o bom desempenho mecânico de peças produzidas de maneira híbrida.

Os testes de substituição de alguns itens de ônibus por peças produzidas com fibra natural de juta reforçada com tecido de fibra de vidro apresentaram resultados satisfatórios, não havendo problemas estruturais em clientes. Desta maneira, pode-se concluir que o uso de peças feitas com fibras naturais pode sim ser a nova substituição na indústria automotiva, ajudando o meio ambiente sem comprometer a qualidade mecânica e estrutural dos itens.

REFERÊNCIAS

AMORIM, L. Avaliação de compósitos de polipropileno virgem e polietileno reciclado reforçados com fibras de sisal para aplicações em peças automotivas. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CALLISTER, W. D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CAVALCANTI, D. K. K. Caracterização mecânica de compósitos híbridos com reforços de fibras naturais. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ.

DARROS, A. B. Compósitos de matrizes poliméricas com mantas aleatórias de fibras vegetais de sisal e de coco. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba. 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1175?show=full>. Acesso em: 08 ago 2022.

FONTES, R. S. Compósito polimérico híbrido: comportamento mecânico, descontinuidade geométrica e resistência residual. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15693/1/RaphaelSF_DISSERT.pdf. Acesso em: 06 ago 2022.

GOMES, J.W. Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica e resíduos gerados pela manufatura do mdf (médium density fiberboard). Tese (Doutorado) – Universidade do Rio Grande do Norte, 2015.

GONÇALVES, E. Materiais Termofixos e Termoplásticos. Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais (CCDM), 2021. Disponível em: <http://www.ccdm.ufscar.br/2021/08/12/termofixos-e-termoplasticos/>. Acesso em: 10 Jul 2022.

GORNINSKI, J. P. Estudo da influência das resinas poliéster isoftálica e ortoftálica e do teor de cinza volante nas propriedades mecânicas e durabilidade do concreto polímero. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, 2002. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2994/000330068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 Jul. 2022.

HEMAIS, C. A. Polímeros e a indústria automobilística. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 13, n 2, p. 107 – 114, 2003, Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/M7SMYkKWh9kmqPGd4D8mhLg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 03 ago 2022.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MARQUES, M. S. Obtenção e caracterização de um compósito polimérico de matriz poliéster e reforço/carga de tecido de fibra de algodão. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MAJEWSKI, M. Compósitos processados via RTM em molde de aço carbono e de liga de alumínio: efeito da condutividade térmica nas propriedades mecânicas e térmicas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017. 78 f. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/149906/majewski_m_me_guara.pdf?sequence=3. Acesso em: 05 set 2022.

MENDONÇA, P. T. R. Materiais compostos & estruturas sanduíche: projeto e análise. São Paulo: Manole, 2005.

MITTAL, V.; SAINI, R.; SINHA, S. Natural fiber-mediated epoxy composites - a review. *Composites Part B: Engineering*, v. 99, p. 425–435, ago. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836816309660?via%3Dihub>. Acesso em: 03 ago. 2022.

MOREIRA, A. M. Materiais compósitos. Departamento de Engenharia Civil. Área de construção I, 2009. Disponível em: http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932__Compositos_MC1.pdf. Acesso em: Jul 2022.

NEWS CISION. Volvo Cars investe em empresa suíça de desenvolvimento de materiais à base de fibras naturais. abr 2022. Disponível em: <https://news.cision.com/pt/volvo-portugal/r/volvo-cars-investe-em-empresa-suica-de-desenvolvimento-de-materiais-a-base-de-fibras-naturais,c637847554640000000>. Acesso em: 02 out 2022.

ORNAGHI JUNIOR, H. L. Caracterização mecânica e dinâmico-mecânica de compósitos híbridos vidro/sisal moldados por RTM. 2009. Dissertação (Mestrado), UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PADILHA, N. F. Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedade. 2000. Curitiba: Hemus livraria, distribuidora e editora S.A.

PEREIRA, A.C. Comportamento em tração e flexão de compósitos com matriz poliéster reforçados com fibras de sisal. 2015. Monografia, UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos - RJ, pp. 5-15.

REVISTA GLOBO RURAL. Produção de juta e malva envolve 15 mil famílias no Norte do país. 2010. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI146775-18078,00-PRODUCAO+DE+JUTA+E+MALVA+ENVOLVE+MIL+FAMILIAS+NO+NORTE+DO+PAIS.html>. Acesso em: 3 ago 2022.

RIBEIRO, A. Caracterização e aplicação de compósito de fibra de juta em sistema de revestimento cerâmico em fachada ventilada. 2018. Dissertação (Mestrado) UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense.

SANTANA, L. C. Obtenção e caracterização de compósito de polipropileno reforçado com fibra de palmeira. 2014. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Tese-de-Doutorado_Isabela-Leao.pdf. Acesso em: 03 ago 2022.

SILVA, I. L. A. Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta. 2014. Monografia do Curso de Graduação de Engenharia Química. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

SOUZA, L. G. V. M. Efeitos da adição de tecido de fibra de vidro tipo E a um compósito de resina poliéster e tecido de fibra de algodão. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/27366/1/Efeitosadi%C3%A7%C3%A3otecedo_Souza_2018.pdf. Acesso em: 05 set 2022.

THOMAS, S.; POTHAN, L. A. (2009). Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: From Macro to Nanoscale. Éd. des Archives contemporaines.

UNIBUS RN, 2019. A nova padronização interna dos ônibus de Natal. Disponível em: <<https://unibusrn.com/2019/10/13/a-nova-padronizacao-interna-nos-onibus/>>. Acesso em: 06 set 2022.

VARELA, P. H. A. Obtenção, caracterização e aplicabilidade de um compósito com matriz de resina ortoftálica e reforços de tecidos de juta (*corchorus capsularis*) hibridizado com fibra de vidro. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/23955>. Acesso em: 06 set 2022.

Autorização de arquivamento da versão final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

Eu, Prof^a Dr^a Lorena Oliveira Pires, venho por meio desta **AUTORIZAR** o arquivamento no Repositório Institucional Unesp da versão final do trabalho de conclusão de curso intitulado "Compósitos híbridos de fibras naturais com fibra de vidro utilizados na fabricação de peças automotivas", da aluna Camila Capai de Andrade, regularmente matriculada no Curso de Graduação em Engenharia Química, período integral do Instituto de Química do Câmpus de Araraquara da Unesp.

Informo que o arquivo em PDF do TCC está tecnicamente adequado em sua forma e estrutura e contém os devidos agradecimentos aos órgãos de fomento à pesquisa (no caso de recebimento de bolsa e/ou financiamento).

(x) **AUTORIZO** ainda, a disponibilização online em acesso aberto do TCC no Repositório Institucional Unesp.

Araraquara, 19 de janeiro de 2023.

Lorena Oliveira Pires

Assinado de forma digital
por LORENA OLIVEIRA PIRES
Dados: 2023.01.19 10:52:12
-03'00'

Lorena Oliveira Pires