

**CENTRO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LARISSA DE JERUSALÉM CAJADO PINHEIRO
RAPHAEL HENRIQUE AGUIAR ROSA**

**O EMPREGO DE MATERIAIS COMPÓSITOS EM PROJETOS DE
EXTENSÃO UNIVERSITÁRIOS DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Orientadora: Doina Mariana Banea

Coorientador: Henrique Fernandes Medeiros de Queiroz

RIO DE JANEIRO

Agosto/2022

LARISSA DE JERUSALÉM CAJADO PINHEIRO
RAPHAEL HENRIQUE AGUIAR ROSA

**O EMPREGO DE MATERIAIS COMPÓSITOS EM PROJETOS DE
EXTENSÃO UNIVERSITÁRIOS DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Projeto final apresentado em cumprimento às normas do departamento de Educação Superior do Cefet/RJ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Doina Mariana Banea
Coorientador: Henrique Fernandes Medeiros de Queiroz

RIO DE JANEIRO

Agosto/2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

P654 Pinheiro, Larissa de Jerusalém Cajado
O emprego de materiais compósitos em projetos de extensão universitários de engenharia mecânica / Larissa de Jerusalém Cajado Pinheiro [e] Raphael Henrique Aguiar Rosa. — 2022. 83f. : il. (algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2022.
Bibliografia : f. 79-83
Orientadora: Doina Mariana Banea
Coorientador: Henrique Fernandes Medeiros de Queiroz

1. Engenharia mecânica. 2. Materiais compostos. 3. Fibras naturais. 4. Resinas epoxi . I. Rosa, Raphael Henrique Aguiar. II. Banea, Doina Mariana (Orient.). III. Queiroz, Henrique Fernandes Medeiros de. (Coorient.) IV. Título.

CDD 621

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, à Deus por ser fonte de esperança e prover força para que este trabalho fosse concluído. Através da fé nEle que sempre mantive motivação e força para seguir em frente e atravessar todas as adversidades.

Agradeço também a minha família, principalmente ao meu pai Robson, minha mãe Maria da Conceição e meu irmão Robson, por todo suporte e apoio durante todos os anos da graduação e também por toda orientação e conselhos durante toda a vida.

Agradeço aos meus amigos, que me dão suporte e apoio nas lutas diárias, e em todos os momentos bons e ruins. Obrigado Beatriz, Thayla, Thiago, Fernanda e Tamer.

Também agradeço aos amigos que adquiri durante os anos de graduação, essa jornada que o CEFET possibilitou conhecer pessoas incríveis que sempre ajudaram com conhecimento, apoio e incentivo. Obrigado Vinícius, João, Matheus, Daniel e Clodoaldo, sem vocês essa jornada teria sido muito mais difícil.

Agradeço a Larissa, minha dupla durante este trabalho, que desde o início aceitou o desafio que sabíamos que não seria fácil e conseguimos concluir este trabalho graças a ajuda e motivação um ao outro nos momentos de dificuldade.

Também agradeço a professora Doina Mariana pela orientação deste trabalho, por todos os conselhos e preocupações com o andamento. Ao Henrique, nosso coorientador por toda paciência, ensinamentos, conselhos e orientação. E a toda equipe do laboratório que nos recebeu bem e compartilhou conosco conhecimento.

Por fim, agradeço também a todos aqueles que não foram citados no texto, mas que contribuíram e incentivaram durante toda a jornada da graduação. Muito obrigado a todos que de alguma forma fizeram parte deste processo.

Raphael Henrique Aguiar Rosa

A frente de todos os meus passos, Deus, me protegeu e colocou pessoas maravilhosas no meu caminho para que esse trabalho desse prosseguimento, por isso agradeço à Ele por tudo que sou e percorri até aqui.

Agradeço aos meus pais, meu namorado e meus amigos. Agradeço à minha dupla, Raphael por acreditar em mim e por ter me escolhido para dividir esse desafio. Agradeço aos meus orientadores, Doina, Henrique e Daniel por sempre nos acalmar e acreditar muito no nosso potencial, vou sempre levar comigo o incentivo de vocês.

Larissa de Jerusalém Cajado Pinheiro

RESUMO

O desenvolvimento da carenagem para um carro que compete na categoria de alta eficiência tem como principal desafio manter um baixo consumo energético visando o potencial agregado em cada peça do carro e na sua estrutura. A primeira opção para a construção da carenagem, são os materiais metálicos, pois são fáceis de encontrar, mais baratos e fácil de encontrar mão de obra especializada que possa moldar o formato da carenagem. Para a competição da Shell Eco-marathon, é necessário que as equipes inovem e procurem sempre a redução do peso estrutural e das peças, para que o protótipo fique mais leve e que não tenha a perda de suas características mecânicas. A melhor opção para a construção de uma carenagem com aerodinâmica e leveza, é utilizando materiais compósitos, e para que tenha a funcionalidade correta e dentro das normas da competição, é necessário que a matriz, o reforço e o núcleo sejam bem configurados, para que todo estudo e o projeto atendam aos requisitos. O trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo comparativo entre o emprego de fibra natural com uma matriz de resina e fibra sintética com a mesma matriz de resina, já amplamente utilizada por equipes na mesma competição. O diferencial do trabalho está na utilização da fibra natural que é ecológica e biodegradável, a comparação entre os diversos casos montados possibilitou a escolha de uma melhor configuração na qual o material tem uma ótima eficiência preenchendo os requisitos que estão sendo procurados, além de possibilitar uma estética diferenciada. Todos os resultados são analisados e discutidos por comparação, chegando à conclusão de que o caso híbrido assimétrico com duas camadas de vidro se adequa aos parâmetros, mostrando excelência na sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Protótipo. Materiais compósitos. Fibras naturais. Resina. Carenagem.

ABSTRACT

The development of the fairing for cars that competes in the high-efficiency category has as its main challenge to maintain a low energy consumption aiming at the aggregate potential in each part of the car and in the structure. The first option for the construction of the fairing are metallic materials, because they are easy to find, cheaper and easy to find specialized labor that can mold the shape of the fairing. For the Shell Eco-marathon competition, teams need to innovate and always seek to reduce structural weight and parts, so that the prototype becomes lighter and does not lose its mechanical characteristics. The best option for the construction of a fairing with aerodynamics and lightness, is using composite materials, and for it to have the correct functionality and within the competition rules, it is necessary that the matrix, the reinforcement and the core are well configured, so the study and project meet the requirements. The graduation final work presents a comparative study between the use of natural fiber with a resin matrix and synthetic fiber with the same resin matrix, already widely used by teams in the same competition. Therefore, the study will enable a new fiber option to be used by the E-Wolf team and future studies with other natural fibers. All results are analyzed and discussed by comparison, concluding that the asymmetric hybrid case with two layers of glass fits the parameters, showing excellence in its applicability.

Keywords: Prototype. Composite materials. Natural fibers. Resin. Fairing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Competição Shell Eco-Marathon Fonte: IFC ECO TEAM, 2021.....	4
Figura 2-Esquemática de material compósito. Fonte: OXYBLACK.....	7
Figura 3-Exemplificação da configuração das fibras. Fonte: Paula, 2011.	8
Figura 4-Esquema de classificação das fibras. Fonte Barbosa (2011).....	8
Figura 5-Esquema de classificação dos compósitos. Fonte: Callister, 2002.....	9
Figura 6-Coco maduro. Fonte: Rossi (2017).....	12
Figura 7-Planta que retira o sisal. Fonte: Embrapa.....	13
Figura 8-Propriedades mecânicas da fibra de sisal. Fonte: Gonçalves, 2010.....	14
Figura 9-Planta curauá, Fonte: Sufram, 2019.....	15
Figura 10-Manta de fibra de vidro. Retirado de Advanced Vacuum.....	16
Figura 11-Manta de fibra de carbono. Retirado de Advanced Vacuum.....	18
Figura 12-Comparação da distribuição de tensões de uma junta rebitada e colada. Fonte: José, 2011.....	21
Figura 13- Partes do avião que são fixadas através de adesivos. Fonte: José, 2011.....	22
Figura 14-Exemplo do uso de molde aberto para fabricação. Fonte: Oliveira, 2018.	23
Figura 15-Esquemática de molde para fabricação de placas de fibras. Fonte: Queiroz, 2021.....	23
Figura 16-Placa fabricada com fibra natural. Fonte: De autoria própria.	24
Figura 17-Esquemática de ensaio de tração. Fonte: Biopdi.	25
Figura 18-Ensaio de flexão. Fonte: NewTech.....	26
Figura 19-Esquemática de ensaio de Impacto. Fonte: Infosolda, 2013.....	26
Figura 20-Dimensões exigidas carro e carenagem. Fonte: Shell Eco-Marathon, 2021.....	28
Figura 21- Coeficiente de arrasto de geometrias diversas. Fonte Marchiori, 2017.	29
Figura 22 A e B -Vista lateral e frontal da carenagem do veículo. Fonte: De autoria própria.....	30
Figura 23-Fibra de curauá in natura. Fonte: De autoria própria.....	31
Figura 24-Fibra de Curauá lavada com água destilada. Fonte: de autoria própria.....	31
Figura 25-Estufa para secagem da fibra. Fonte: De autoria própria.....	32
Figura 26-Fibra de curauá após secagem. Fonte: De autoria própria.	32
Figura 27-Fibra curta de curauá. Fonte: De autoria própria.	33
Figura 28-Tecido de fibra de vidro bidirecional. Retirado de E-composites.....	34
Figura 29- Molde em aço retificado 1020. Fonte: De autoria própria.....	35
Figura 30-Espuma adesiva usada no molde. Fonte: De autoria própria.....	35
Figura 31-Processo de mistura da resina com endurecedor. Fonte: De autoria própria..	36
Figura 32 A-Fabricação da placa com uso de molde. B- Placa após cura e retirada do molde. Fonte: De autoria própria. Fonte: De autoria própria.....	37
Figura 33-Prensa hidráulica aquecida utilizada. Fonte: De autoria própria.....	37
Figura 34-Molde para fabricação de junta. Fonte: De autoria própria.	38
Figura 35-Modelo de impressora 3D disponível. Retirado de GTMAX3D Equipamentos eletrônicos e materiais plásticos.....	39
Figura 36-Adesivo epoxy AR345. Fonte E-composites.	40
Tabela 6: Características mecânicas da resina escolhida. Fonte E-composites.....	40
Figura 37-Resina e endurecedor escolhidos, resina epóxi HEX 135. Retirado de E composites.	41
Figura 38-Máquina de ensaio de tração disponível. Fonte Queiroz, 2018.....	42

Figura 39-Exemplo de ensaio de flexão. Fonte: IPTV USP 2018.	43
Figura 40-Máquina para ensaio de impacto disponível no laboratório de materiais, LAMAT, Cefet/RJ.	43
Figura 41-Ensaio de junta. Fonte: De autoria própria.	44
Figura 42-Comparação da rigidez para 30g e 40g de fibra natural.	45
Figura 43-Gráfico tensão-Deformação para diferentes casos em ensaio de tração.	47
Figura 44-Gráfico de tensão para diferentes casos em ensaio de tração.	47
Figura 45-Gráfico de rigidez para diferentes casos em ensaio de tração.	48
Figura 46-Gráfico comparativo de deformação para os casos em ensaio de tração.	49
Figura 47-A - Detalhe de corpo de prova de curauá puro após ensaio de tração. B - Detalhe de corpo de prova rompido e delaminado após ensaio de tração (GGC). C - Corpo de prova rompido e delaminado após ensaio de tração (GGC). D - Corpo de prova após ensaio de tração (GCG).	50
Figura 48-Gráfico de tensão-deformação para ensaio de flexão.	52
Figura 49 - Comparação de dados de tensão obtidos em diferentes casos para ensaio de flexão.	52
Figura 50 - Comparação de dados de rigidez obtidos em diferentes casos para ensaio de flexão.	53
Figura 51 -Comparação de dados de deformação obtidos em diferentes casos para ensaio de flexão.	53
Figura 52-A -Corpo de prova após ensaio de flexão (GC). B -Detalhe de corpo de prova após ensaio de flexão (GGC).C -Corpos de prova deformados após ensaio de flexão (GGCGG).	55
Figura 53-Comparação entre resultados de diferentes casos para ensaio de impacto.	56
Figura 54-A -Corpo de prova simétrico após ensaio de impacto (GCG). B -Vista lateral de corpo de prova após ensaio de impacto com delaminação (GGCGG). C -Corpo de prova após ensaio de impacto (GGCGG). D -Detalhe de corpo de prova após ensaio de impacto (GC).	57
Figura 55-Gráfico comparativo dos resultados dos ensaios de juntas.	58
Figura 56-Gráfico representativos dos resultados dos ensaios de juntas.	59
Figura 57-A - Corpo de prova de curauá 40g após ensaio de juntas. B - Corpos de prova após ensaio de juntas (GC). C - Corpos de prova após ensaio de juntas (GCG). D - Detalhe de corpo de prova após ensaio de juntas (GGC).	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química de fibras naturais. Adaptado de Carvalho et al (2020).....	10
Tabela 2: Propriedades mecânicas das fibras naturais.	12
Tabela 3: Propriedades dos variados tipos de Fibra de vidro. Fonte Marinucci (2019).....	17
Tabela 4: Propriedades da Fibra de carbono. Fonte Marinucci (2019).	18
Tabela 5: Propriedades mecânicas fibra de vidro RE200P E-composites.....	33
Tabela 6: Características mecânicas da resina escolhida. Fonte E-composites.....	40
Tabela 7: Características mecânicas da resina escolhida. Fonte Barracuda Advanced Composites.	41
Tabela 8: Dados sobre resistência à tração e rigidez para ensaio de tração e flexão e desvio padrão.....	45
Tabela 9-Resultados obtidos no ensaio de tração.....	46
Tabela 10: Resultados obtidos no ensaio de flexão.....	51
Tabela 11: Resultados obtidos no ensaio de impacto.....	55
Tabela 12: Resultados obtidos no ensaio de junta.....	58

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 APLICAÇÕES ATUAIS	2
1.2. MOTIVAÇÃO	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. MATERIAIS COMPÓSITOS	6
2.1.1. Fibras	7
2.2. FIBRAS NATURAIS	9
2.2.1. Fibra de coco	12
2.2.2. Fibra de Sisal	13
2.2.3. Fibra de Juta	14
2.2.4. Fibra de Curauá	15
2.3. FIBRAS SINTÉTICAS	16
2.3.1. Fibra de Vidro	16
2.3.2. Fibra de Carbono	17
2.4. Matrizes	19
2.4.1. Resina Epóxi	20
2.4.2. Resina de Poliéster	20
2.5. JUNTAS COLADAS	20
2.6. FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS.	22
2.7. ENSAIOS	24
2.7.1. Ensaio de tração	25
2.7.2. Ensaio de flexão	25
2.7.3. Ensaio de impacto Charpy	26
2.7.4. Juntas Coladas	27
2.8. TAMANHO DAS FIBRAS CURTAS.	27
3. PROPOSTA DO TRABALHO	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 PROTÓTIPO	30
4.2. FIBRA ESCOLHIDA	30
4.3. FABRICAÇÃO DOS COMPÓSITOS	34
4.4. FABRICAÇÃO DAS JUNTAS	38
4.5. FABRICAÇÃO DO MODELO	38
4.6. RESINA ESCOLHIDA	40
4.7. TESTES DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.	42
4.7.1. Ensaio de Tração	42

4.7.2. Ensaio de Flexão	42
4.7.3. Ensaio de Impacto.	43
4.7.4. Ensaio de junta colada.	43
5. RESULTADO E DISCUSSÕES	45
5.1. RESULTADOS	45
5.2. Ensaio De Tração	46
5.2.1. Efeito do número de camadas	49
5.2.2. Efeito da simetria	49
5.2.3. Modo de falha de tração	50
5.3. ENSAIOS DE FLEXÃO	51
5.3.1 Efeito do número de camadas	54
5.3.2. Efeito da simetria	54
5.3.3. Modo de falha de flexão	54
5.4. ENSAIOS DE IMPACTO CHARPY	55
5.4.1. Efeito do número de camadas	56
5.4.2. Efeito da simetria	56
5.4.3. Modo de falha por impacto	57
5.5. ENSAIOS DE JUNTAS COLADAS	58
5.5.1. Efeito do número de camadas	59
5.5.2. Efeito da simetria	59
5.5.3. Modo de falha por juntas	60
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7. BIBLIOGRAFIA	64

1. INTRODUÇÃO

São inúmeras as obras realizadas na antiguidade no qual os diferentes tipos de materiais eram agregados para se ter uma construção e objetos de maior qualidade. No decorrer do império egípcio eram utilizados barro e palha misturados para a fabricação de tijolos, entre 3000 e 1000 antes de Cristo (BUNDER, 2016).

No século XVIII existem relatos do uso de metal e argamassa, que posteriormente foi ser usado cimento junto ao metal formando o concreto armado, por volta de 1849, material compósito utilizado até os dias atuais na indústria (ANDRADE, 2016).

Ao que tange a evolução da engenharia, a procura, a pesquisa, o conhecimento e a necessidade de sempre evoluir tecnologicamente, visando o melhoramento e a maior funcionalidade de tudo que existe na terra, a utilização dos materiais compósitos são de utilidade milenar, a própria natureza carrega muitas estruturas que se encaixam no conceito e que foram e são de grande importância evolutiva.

Materiais com propriedades específicas e não usuais são necessários para infinitas aplicações e alta tecnologia, os compósitos multifásicos criam possibilidades de variadas combinações de propriedades que não podem ser atendidas por nenhuma outra liga convencional (CALLISTER, 2002).

Muitos materiais compósitos são constituídos por duas fases, a matriz, a qual é contínua e envolve a outra fase, chamada com frequência de fase dispersa. As propriedades que o compósito apresenta são em função da fase contínua, da sua quantidade relativa e da geometria da fase dispersa (CALLISTER, 2002).

Toda ciência envolvida na manipulação das propriedades desejadas nos materiais compósitos permite o desenvolvimento do material ideal, com um projeto elaborado sobre a estrutura e otimização, de forma simultânea e interativa. O projeto é multidisciplinar e engloba análise estrutural, ciência dos materiais, mecânica dos materiais e engenharia de processos.

O alto uso de compósitos em estruturas primárias e secundárias está ligado diretamente a alta rigidez, alta resistência e baixa densidade. Materiais monolíticos, são compósitos com vantagens únicas, caracterizados por terem alta resistência, alta rigidez, longa vida de fadiga, baixa densidade e usado em construções de casas. O ótimo desempenho estrutural fundamenta-se na alta resistência específica dos compósitos, e a alta rigidez específica, além do caráter anisotrópico e heterogêneo do material (DANIEL et al., 2006).

As alternativas das variadas junções dão ao compósito sua forma única de se projetar o material, de acordo com as suas necessidades, os graus de liberdade à disposição permitem a

otimização conjunta do material para inúmeras limitações, como, peso mínimo, estabilidade dinâmica máxima e o custo-benefício, aspectos indispensáveis no projeto de carenagem.

Um dos obstáculos na fabricação de compósitos é a necessidade de uma mão de obra qualificada, com automação e padronização. A rigorosidade que se deve levar em consideração faz com que a qualidade almejada seja atingida, transformando o processo em algo caro. Para compósitos convencionais, a fabricação do material e da estrutura têm dois processos separados. A estrutura requer ferramentas complexas e uma montagem elaborada, com articulações em vários elementos.

O escopo da pesquisa de materiais compósitos consiste nas seguintes tarefas:

1. Investigação das características básicas dos materiais constituintes e compósitos.
2. Otimização de material para determinadas condições de serviço.
3. Desenvolvimento de procedimentos de fabricação eficazes e eficientes e avaliação de seu efeito nas propriedades do material.
4. Desenvolvimento de procedimentos analíticos e modelos de simulação numérica para determinação de propriedades de materiais compósitos e previsão de comportamento estrutural.
5. Desenvolvimento de métodos experimentais eficazes para caracterização de materiais, análise de estresse e análise de falhas.
6. Avaliação não destrutiva da integridade do material e confiabilidade estrutural.
7. Avaliação de durabilidade, criticidade de falhas e previsão de vida.

As desvantagens recorrentes na utilização dos compósitos em projetos estão no custo elevado do material, alto custo para fabricar e montar, manuseio especializado, não pode ser reciclado e não há critérios para dimensões pré estabelecidas (DANIEL *et al*, 2006).

1.1 APLICAÇÕES ATUAIS

A incessante busca por novas combinações de materiais que tenham propriedades mecânicas ótimas, suas aplicações em qualquer ramo industrial é a possibilidade e o impulsionamento para que sejam cada dia mais estudados.

Os materiais compósitos estão presentes em muitos ramos das indústrias desde a alimentícia quanto a indústria bélica. Estudos mostram que os materiais compósitos são cada vez mais utilizados pela indústria, principalmente pela indústria aeronáutica. Isso ocorre devido

a aplicabilidade em estruturas que necessitam de um alto desempenho e baixo peso, necessidades também requeridas pela indústria automotiva, esportiva, construção civil etc. (DA ROCHA, 2020).

Na indústria aeroespacial e militar é necessário desenvolver materiais que possuem rigidez mecânica e baixa densidade, as formas que são utilizados é principalmente em peças estruturais como flap, aerofólio, hélices e freios aerodinâmicos, usado na fuselagem das aeronaves, pás do rotor e cabines de helicópteros, assim como são utilizados es peças de estrutura secundária, em pisos, portas, cadeiras, ar-condicionado etc. Usados na área militar em painéis a prova de balas, capacetes, bocal de foguetes macas de resgate.

1.2. MOTIVAÇÃO

O desenvolvimento de materiais compósitos para serem implementados nos projetos de extensão da faculdade tem como principal objetivo potencializar a experiência do aluno como pesquisador e membro de uma equipe, ampliando os conhecimentos e descobrindo novos meios para aperfeiçoar os projetos.

A intenção deste trabalho tem como objetivo central o estudo de materiais compósitos, especificamente fibra de curauá e resina epóxi. A implementação desses materiais servirá para a criação de uma carenagem leve, resistente e que seja flexível. Será utilizado no desenvolvimento de uma carenagem para o protótipo do carro, componente importante para o projeto.

O desenvolvimento do projeto coopera para que a equipe E-Wolf tenha futuramente um estudo completo para que o compósito desenvolvido seja utilizado em suas carenagens e que leve o sucesso que todos os membros e colaboradores esperam. A competição alvo é a *Shell Eco-Marathon*, onde o carro precisa ter uma ótima eficiência, movido a bateria de lítio, conseqüentemente, quanto mais leve for o conjunto, menor será o consumo de energia.



Figura 1-Competição Shell Eco-Marathon Fonte: IFC ECO TEAM, 2021.

A competição teve início nos anos 30 para que os próprios funcionários pudessem desenvolver inovações para se obter mais eficiência. Hoje em dia a competição ocorre em três continentes diferentes e estudantes universitário são convocados para mostrar suas habilidades e o que são capazes de realizar para que alcancem maiores rendimentos de acordo com os requisitos impostos pela competição.

A eficiência tão desejada para todo o projeto de desenvolvimento do carro está na modificação, aperfeiçoamento e criação de novos componentes que consolidam o projeto como qualificado para participar da competição.

Para melhor entendimento sobre a competição, a equipe ganhadora é a que consegue realizar o percurso definido pela competição e consumir a menor quantidade de combustível ou eletricidade para os casos de motores elétricos (SHELL ECO-MARATHON, 2021).

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em seis capítulos, no qual o primeiro capítulo foi feito uma introdução sobre o material a ser estudado e os motivos para o estudo. Em seguida, no segundo capítulo foi realizada uma pesquisa na literatura sobre os diferentes tipos de fibras, e outros

materiais utilizados. No terceiro capítulo, diante de toda informação apresentada no capítulo dois, foi apresentado a proposta do trabalho e requisitos da competição. O capítulo quatro apresenta a metodologia, os materiais escolhidos e os equipamentos utilizados. No capítulo cinco serão apresentados os resultados e discussões, abrangendo pelos tipos de ensaios realizados e o efeito de cada composição da placa. O último capítulo, de número seis, mostra a conclusão de todo o estudo, o que seria mais sensato a ser utilizado levando em consideração os valores obtidos e a literatura, também se apresenta a proposta para uma continuidade do estudo. Em seguida serão apresentadas as revisões bibliográficas e os anexos necessários.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os materiais compósitos podem ser descritos como diferentes macroscopicamente dos materiais convencionais. Têm a referência de conterem fibras resistentes podendo ser contínuas ou descontínuas, incorporadas à uma matriz. A matriz que irá manter a geometria e o arranjo das fibras e posteriormente se transmite à fibra a carga que irá atuar sobre o compósito (DANIEL, 2006).

A ligação entre fibras e matrizes é criada durante a fase de fabricação do material composto. Isso tem influência fundamental nas propriedades mecânicas do material compósito (DANIEL, 2006).

Entre os aspectos gerais e aplicações dos materiais compósitos (SOARES, 2018), as fases devem apresentar as seguintes características:

- não sejam miscíveis;
- compatíveis quimicamente;
- separadas por uma interface distinta;
- propriedades mecânicas complementares;
- propriedades finais do compósito como função (mais ou menos linear) das propriedades dos constituintes.

2.1. MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos surgem através da junção de diferentes materiais para se obter um novo produto com propriedades superiores à de seus materiais individualmente, como observado na Figura 2. Os materiais são classificados em reforço e matriz. O reforço é composto por fibras ou partículas que ficam dispersas na matriz, agregando suas propriedades, a matriz envolve as fibras mantendo a orientação e essa união resulta na combinação das propriedades mecânicas dos materiais envolvidos. A matriz pode ser cerâmica, metálica ou polimérica (MARCHIORI, 2017).

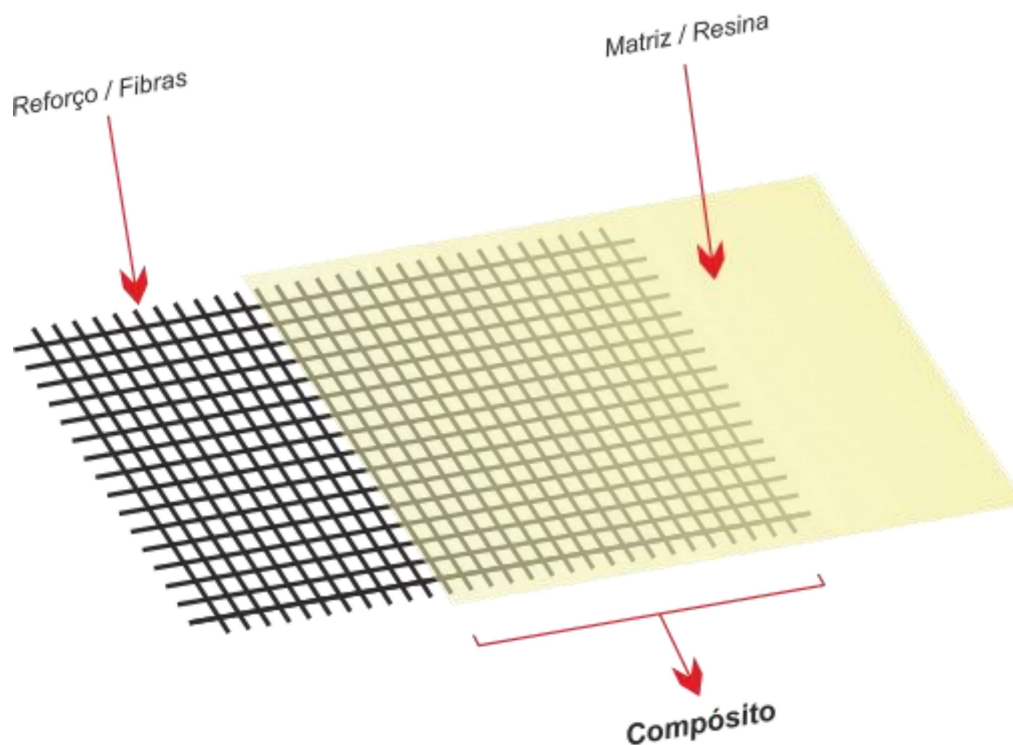


Figura 2-Esquematização de material compósito. Fonte: OXYBLACK

2.1.1. Fibras

As fibras são um meio eficiente de reforço para formar os materiais compósitos, podem ser divididas em dois grupos, as naturais e sintéticas. As fibras naturais têm origem vegetal, mineral ou animal já as sintéticas são produzidas em laboratório.

Tem-se como exemplo de fibra vegetal as fibras de coco, que são as mais usuais, fibras de buriti, de juta, sisal e diversas outras. Entre as fibras de origem mineral temos como exemplo a de basalto e amianto. Já com relação a de origem animal temos exemplos a seda e a lã. E a respeito das fibras sintéticas, as mais comuns são as fibras de vidro e as de carbono.

As fibras podem ser do formato contínuo, sendo elas unidirecionais ou entrelaçadas, fibras cortadas curtas e particuladas (em escala macro, micro e nano) sendo exemplificado na Figura 3. Materiais compósitos tendem a ser anisotrópicos, significa que as propriedades do material variam em posição e direção. Por essa causa, as estruturas de materiais compósitos são construídas a partir de múltiplas camadas (laminados), as diversas orientações ajudam a atingir rigidez e um ótimo desempenho. (SHIGLEY, 2005).

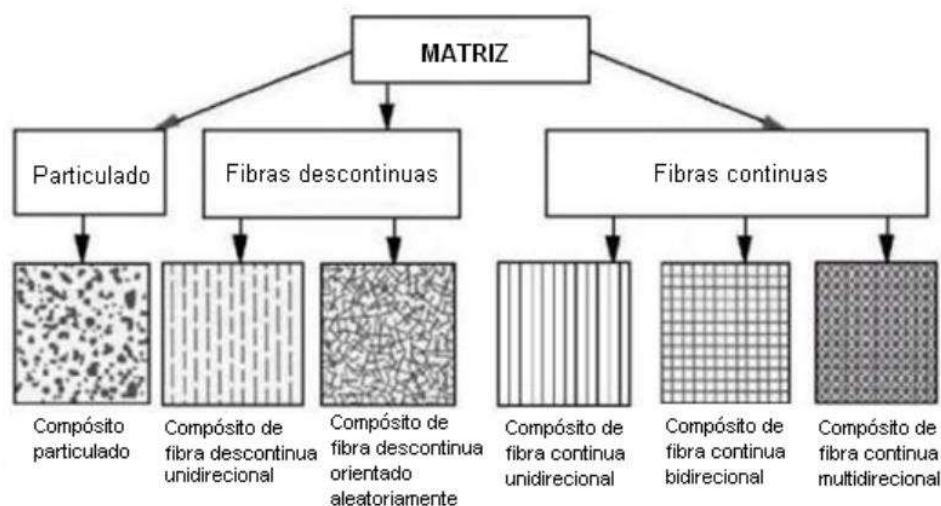


Figura 3-Exemplificação da configuração das fibras. Fonte: Paula, 2011.

Outro ponto de extrema relevância quando se pensa em criar um material compósito que tenha como finalidade atender às características necessárias para um bom desempenho do projeto são as orientações em que as fibras irão se apresentar. A Figura 4 mostra como as fibras podem ser orientadas e os efeitos nas propriedades mecânicas.

A resistência das fibras pode ser observada conforme sua orientação. A resistência será máxima quando as fibras estão orientadas com o esforço, quando está em 0° e resistência mínima na direção perpendicular (90°). Há fórmulas que transcrevem a previsão das propriedades mecânicas da fibra enquanto orientadas e suas ligações, porém, é difícil prever teoricamente.

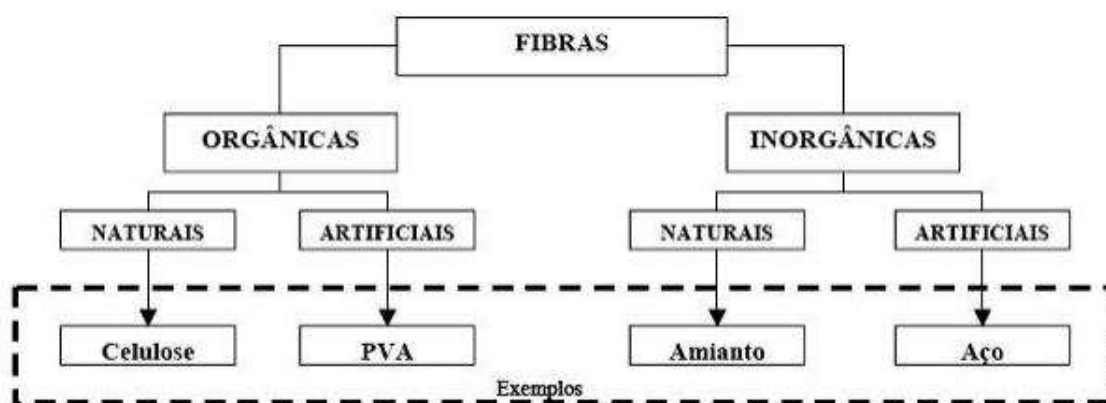


Figura 44-Esquema de classificação das fibras. Fonte Barbosa (2011).

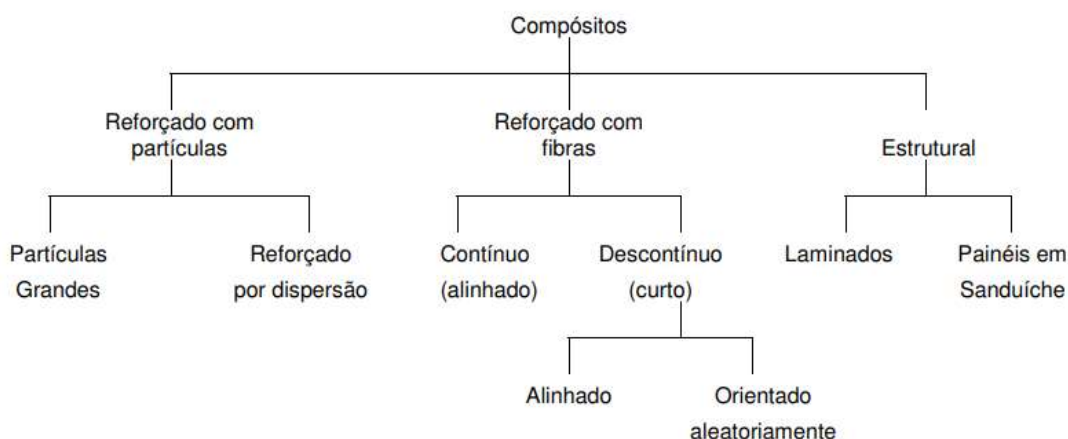


Figura 55-Esquema de classificação dos compósitos. Fonte: Callister, 2002.

As fibras naturais absorvem facilmente a umidade porque contêm grupos hidróxidos polares abundantes que resulta num grau alto de absorção de umidade de compósitos de matriz polimérica reforçada com fibra, o que dificulta a aplicação do mesmo. A umidade da fibra natural depende da umidade relativa do ambiente, fração de volume da fibra, tipo de polímero usado, tempo de absorção e temperatura (DEO *et al.* 2010).

A absorção de umidade por parte das fibras vegetais pode resultar em inchamento das fibras e o interesse na estabilidade dimensional dos reforços em compósitos não pode ser ignorado. No compósito, a absorção de umidade é minimizada devido ao recobrimento da fibra pelo polímero. A absorção de umidade das fibras pode ser reduzida através de modificações químicas, mas isto implica em acréscimo no custo do produto. Uma boa adesão fibra/matriz também pode diminuir a razão e quantidade de água absorvida pelo compósito (SILVA, 2014).

Nos itens abaixo são apresentados os tipos de fibras naturais e sintéticas que são mais utilizadas e as que estão ganhando destaque nas pesquisas desenvolvidas atualmente, citando suas características e propriedades predominantes que ajudarão na escolha do mesmo.

2.2. FIBRAS NATURAIS

O incentivo para o cultivo de plantas fibrosas carrega consigo a intenção de expandir a sua utilização visto que a mesma pode ser usada para a criação de novos materiais compósitos, a maior aplicabilidade atualmente está relacionada ao artesanato, paisagismo, área farmacêutica, alimentação etc. Porém, estudos atuais visam ampliar a serventia das fibras naturais para que tenham competitividade com as fibras sintéticas, óbvio que existe o interesse de que as indústrias tenham incentivo fiscal para que usem esse recurso (SANTOS *et al.*; 2006).

Entre as vantagens do uso de fibras naturais podemos citar:

- São materiais renováveis, possibilitando grande abundância e disponibilidade;
- Menor custo quando comparado aos reforços sintéticos empregados atualmente e a possibilidade de geração de fonte de renda para população rural;
- Apresentam baixa densidade e alta deformabilidade;
- Devido a grande diversidade de plantas o potencial de descobertas de fibras com boas propriedades mecânicas é alto (PEREIRA, 2017).

As fibras naturais de origem vegetal, que serão objeto de estudo para este trabalho, são compostas em sua maior parte por celulose, que tem relação direta com a eficiência da fibra natural como reforço, devido a sua cristalinidade.

A tabela 1 mostra a composição química das fibras naturais, apresentando seus principais componentes. Logo após a tabela estão descritas as propriedades físicas e mecânicas de algumas fibras naturais.

Tabela 1: Composição química de fibras naturais. Adaptado de Carvalho et al (2020).

Tipo de Fibra	Celulose %	Lignina %	Hemicelulose %	Pectina %	Cera %	Cinza %	Ângulo Microfibrilar °
Bambu	26-43	1-31	30	-	10	-	-
Pó de coco	36-43	0,15-0,25	41-45	3-4	-	-	30-49
Juta	61-72	12-13	18-22	0,2	0,5	0,5-2	8
Sisal	78	8	10	-	2	1	10-22
Curauá	70,7	7,5	21,1	-	-	0,8	

A celulose é um componente básico dos tecidos vegetais, que fornece resistência e rigidez. É um polímero de cadeia linear com fórmula química $C_6H_{10}O_5$. (AGROPÓS).

A lignina é um composto que possui como função principal a proteção do tecido vegetal contra oxidação. É um composto que não é considerado uma substância de estrutura definida por apresentar variações da estrutura química (UFSJ, 2008).

A hemicelulose é um polímero de baixa massa molecular que é mais suscetível à hidrólise quando comparado à celulose e apresenta um menor grau de polimerização (OGATA, 2013).

A pectina é constituída por polímeros lineares de ligação α -(1→4) de ácido galacturônico (PAIVA, 2009).

A cera e as cinzas são caracterizados como impurezas, que podem ser eliminadas através de tratamento químico (BARBOSA, 2011).

Lembrando que as propriedades mecânicas apresentam variações de valores assim como as composições das fibras, as formatações que serão enquadradas e a forma que será produzida. É indispensável configurar as propriedades da fibra para que não tenha umidade excessiva, para promover a fixação da fibra com a matriz.

Entre as vantagens das fibras naturais, se compararmos com as fibras sintéticas, são principalmente o fato de serem renováveis, biodegradáveis e de grande abundância na natureza. Também são mais baratas e mais leves que as fibras sintéticas. A substituição de fibras sintéticas para fibras naturais aconteceria de forma a incorporar em termoplásticos como polipropileno, polietileno, poliestireno, PVC e poliamidas para que tenham serventia na área industrial.

Como desvantagens temos o fato de não atingirem o mesmo nível de resistência das fibras sintéticas, o fato de absorverem umidade e menor resistência térmica. Vale lembrar que as fibras usadas sozinhas não suportam cargas de compressão longitudinais junto com as suas propriedades mecânicas transversais que apresentam resultados inferiores aos das longitudinais, logo a utilização das fibras tem a necessidade de uma matriz ou material aglutinante que possa dar rigidez à estrutura.

Existem muitas políticas de implementação de materiais compósitos que utilizam fibras naturais em suas composições na área automobilística, sempre procurando a redução de preço na fabricação, podendo ser reutilizáveis quando acaba a vida útil da peça. Há a redução do consumo de combustível além de diminuir o ruído, pois compósitos naturais tem uma boa absorção de vibração e são mais difíceis de quebrar.

As fibras naturais em compósitos termofixos dissipam energia em níveis de estresse e maior tensão do que os que são reforçados com compostos de vidro. Para matrizes termoplásticas, o efeito na dissipação de energia das fibras naturais depende das propriedades da resina que será usada (AHMAD et al, 2015).

Dentre as diversas opções de fibras naturais, para este trabalho foram comparadas de acordo com a literatura algumas para após isso selecionar uma que melhor se adeque ao projeto. Podemos ver na tabela 2 as propriedades das fibras comparadas.

Tabela 2: Propriedades mecânicas das fibras naturais.

Fibra Natural	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Coco (Gonçalves, 2010)	1,2	30,0	175	4,0-6,0
Sisal (Gonçalves, 2010)	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0
Juta (Gonçalves, 2010)	1,3	1,5-1,8	593-773	26,5
Curauá (Junior, 2019)	1,1	2,0-4,0	800-1400	26,0-46,0

2.2.1. Fibra de coco

O coco é um fruto de grande produção no Brasil, a produção estimada para 2020 foi de 1,95 bilhão de frutos, representando 4,5% da produção mundial, e quinto maior produtor. Mas essa produção está ligada diretamente ao consumo do fruto, levando assim a maioria das vezes ao descarte das partes não consumíveis, que representam mais de 80% do peso do fruto. Outro fator é a demora na decomposição das cascas que pode levar de até 12 anos. (BRAINER, 2020).

A composição do coco é de uma casca lisa, uma parte mais interna fibrosa, uma camada que envolve a parte comestível e por fim a parte comestível como pode ser observado na Figura 6. A parte fibrosa, conhecida como mesocarpo, é que fornece as fibras de coco que apresentam algumas características como maleabilidade e baixa densidade (GONÇALVES, 2010).

Atualmente, não só as fibras de coco, mas outras partes do coqueiro também, são usados para confecção de diversos produtos, desde utensílios como pincéis, itens domésticos como tapetes e colchões, até aplicações na indústria, como a indústria automobilística na fabricação de assentos (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO E TECNOLOGIA, 2006).

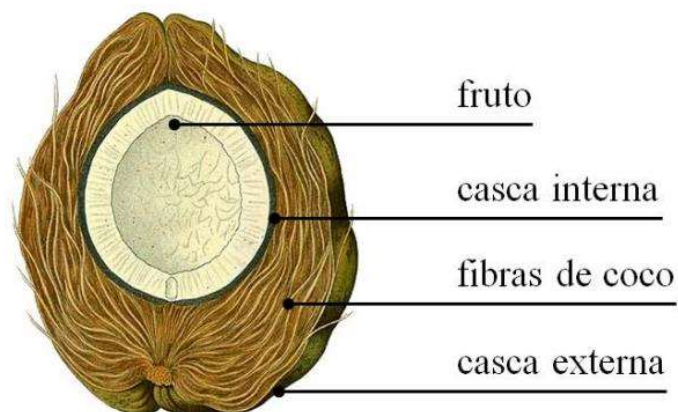


Figura 66-Coco maduro. Fonte: Rossi (2017).

As propriedades mecânicas da fibra de coco observadas em literatura, mostram que a fibra apresenta uma densidade baixa, um alongamento elevado, porém uma baixa resistência à tração se comparado a outras fibras naturais e sintéticas, também apresenta um baixo módulo de elasticidade.

A fibra de coco é utilizada em diversos setores desde substrato a construção civil, existem diversos estudos que avaliam o uso da fibra em conjunto com misturas asfálticas, cimento e outros diversos itens. O uso da fibra de coco é mais comumente utilizado na confecção de itens relacionados a jardinagem, escovas, tapetes, colchões e uma variedade de outros itens (VALE, 2007).

2.2.2. Fibra de Sisal

O plantio de sisal é predominante na região nordeste do Brasil e é denominado como uma “fibra estrutural”, tendo a capacidade de fornecer sustentação e rigidez às folhas, a planta pode ser observada na Figura 7. Em decorrência das características da fibra, têm-se alta resistência à tração e flexão, além de uma alta resistência ao impacto, permitindo que seja utilizado em diversos setores da indústria. Sua fibra, quando comparada a outras fibras naturais, é a que apresenta um maior módulo de elasticidade e resistência mecânica, sua característica dura faz com que seu uso seja corresponde a aproximadamente 70% de toda a produção de fibras naturais.



Figura 77-Planta que retira o sisal. Fonte: Embrapa.

A fibra de sisal apresenta propriedades mecânicas interessantes quando comparado a outras fibras naturais, apresenta densidade relativamente baixa, bem menor que a fibra de vidro e resistência à tração melhor que outra fibra natural, mas ainda assim inferior à juta.

A fibra de sisal é amplamente utilizada na confecção de fios, cordas, tapetes, vassouras e itens de artesanato, também é usada na indústria automobilística e existem estudos sobre a aplicação das fibras de sisal em blocos de concreto (IZQUIERDO, 2011).

Uma das maiores empregabilidades da fibra de sisal é na confecção de cordas, servindo para as indústrias da construção civil, de petróleo e gás em navios e diversos outros setores.

2.2.3. Fibra de Juta

A juta é uma fibra natural que tem formato de arbusto e levam até 5 meses para que tenha a sua colheita, após todo o processo para se obter a fibra, que envolve ficar submerso na água, secagem e escovamento como pode ser visto na Figura 8, suas fibras são utilizadas geralmente para revestimento de pisos e paredes, sacola, bases para gesso, sacaria e entre outras utilidades.

No geral, as fibras de juta são empregadas na confecção de telas e tecidos de aniagem, serapilheiras, cordas, barbantes, tapetes. Também tem outras aplicações como no sistema de revestimento cerâmico em fachada ventilada (JORNAL BEIRA DO RIO, 2018).



Figura 88-Propriedades mecânicas da fibra de sisal. Fonte: Gonçalves, 2010.

A fibra de juta apresenta algumas propriedades mecânicas parecidas ao da fibra de sisal, tendo uma resistência à tração próxima, a diferença é perceptível ao tratar do módulo de elasticidade que da juta é relativamente superior e no alongamento que se mostra com maior percentual na fibra de sisal.

2.2.4. Fibra de Curauá

A fibra de curauá tem origem da planta curauá, seu cultivo se dá em grande concentração na região Amazônica, na Figura 9 podemos observar a planta de curauá. A fibra é extraída da folha da planta e apresenta elevada resistência mecânica, esse fator faz com que essa fibra seja a possível substituta da fibra de vidro, já que apresenta boas propriedades mecânicas e apresenta origem natural. Tem sido empregada em alguns setores da indústria, como é o caso da indústria automobilística (ZAH, 2006).

Maciel et al (2020), em sua pesquisa sobre as combinações possíveis do curauá, comparou a resistência à tração do curauá e reforço de fibra de vidro e matriz epóxi a 30%vol. E foi relatado que a tração para curauá/epóxi é de 142 MPa cm³/g, em contrapartida o valor bem inferior da fibra de vidro/epóxi de 66 MPa cm³/g. Resultado esse que incentiva a substituição da fibra de vidro por curauá, garantindo o equilíbrio das cargas altas e a capacidade de rolamento.

O curauá tem um ponto extremamente positivo na aplicação automobilística pois as demais fibras liberianas têm um odor muito forte e as fibras das folhas de curauá são inodoras (ZAH, 2006).



Figura 99-Planta curauá, Fonte: Sufram, 2019.

Com relação às propriedades mecânicas do curauá, a fibra apresenta desempenho superior às outras fibras naturais e uma densidade inferior, possibilitando assim uma resistência superior com um peso menor para determinada peça ou produto.

2.3. FIBRAS SINTÉTICAS

As fibras sintéticas foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar as características e propriedades das fibras naturais, ao que tange à demanda da natureza, as fibras sintéticas não deixam que haja uma sobrecarga no consumo de insumos naturais. Tendo como outro ponto positivo a boa resistência à ruptura e a baixa absorção de umidade, o que lhe garante estabilidade durante o tratamento a úmido. Vantagens das fibras que impulsionam sua utilização na indústria:

- Estabilidade ao ar, a luz, ao calor, e a umidade;
- Resistência a micro-organismos;
- Baixa deformação permanente por tração (resistência mecânica);
- Resistência a abrasão.

2.3.1. Fibra de Vidro

Uma das principais fibras sintéticas é a fibra de vidro, que é um aglomerado de filamentos de vidro muito finos, a fibra de vidro começou a ser produzida na década de 30 e passou a ter um crescimento comercial na década de 40. Atualmente é empregado em diversas indústrias, como a fabricação de embarcações, aeronaves, veículos e diversos outros segmentos (*COMPOSITE GROUP*, 2020). Podemos encontrar a fibra de vidro em diferentes formatos, tecido, manta como na Figura 10, e outros formatos.



Figura 1010-Manta de fibra de vidro. Retirado de Advanced Vacuum.

A fabricação da fibra de vidro é realizada através de minerais como a sílica (SiO_2) junto a adição de alguns elementos como boro, sódio, alumínio e óxido de cálcio, fundidos em elevadas temperaturas. A variação dos minerais adicionais vai gerar diferentes tipos de fibras, tendo hoje várias propriedades diferentes, como isolamento elétrico, resistência à corrosão e resistência mecânica. Os materiais são adicionados a um forno com altas temperaturas e em seguida submetidos a um resfriamento onde o controle térmico irá proporcionar a obtenção dos fios de vidro, com tamanhos regulados através de orifícios extremamente finos. Após isso, a fabricação vai ter diferentes métodos para as diferentes formas de aplicação, como mantas, tecidos e *Roving* que é o próprio filamento (MARINUCCI, 2019).

As principais vantagens de se usar a fibra de vidro, está no seu baixo custo, se comparado a outras fibras sintéticas, e alta resistência à tração. Suas desvantagens englobam o baixo módulo de elasticidade presente no material e a baixa resistência à fadiga (DANIEL, 2006), os diferentes tipos de fibra têm suas propriedades descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades dos variados tipos de Fibra de vidro. Fonte Marinucci (2019).

Propriedades	A	C	E	S
Densidade (g.cm^3)	2,54	2,49	2,54	2,48
Resistência à tração (Mpa) 25°C	3033	30333	3448	4585
Resistência à tração (Mpa) 370°C	-	-	2620	3758
Módulo de elasticidade (GPa) 25°C	-	69,0	72,4	85,5
Alongamento (%) a 25°C	-	4,8	4,8	5,7

A fibra de vidro A tem elevado conteúdo álcalis, não sendo recomendado para aplicações que necessitam de isolamento térmico. A fibra de vidro C, possui sódio borosilicato, recomendado para fabricação de véus de superfície, muito utilizado como *liners*. A fibra de vidro E, contém alumina-borosilicato e álcalis reduzido, essa fibra tem elevada resistência mecânica e boas propriedades químicas. A fibra de vidro S, é utilizada onde se necessita de uma elevada resistência mecânica a elevadas temperaturas além de possuir resistência à tração superior ao E (MARINUCCI, 2019).

2.3.2. Fibra de Carbono

A fibra de carbono é fabricada com o uso de polímeros que contêm uma grande concentração de carbono, normalmente maior que 90%, sendo o principal polímero a poliacrilonitrila, descoberta em 1893. O processo de fabricação consiste em algumas etapas,

como o pré tratamento das matérias primas onde ocorre o alongamento através de tensões mecânicas, a carbonização em fornos de alta temperatura e o resfriamento.

Entre as principais vantagens da fibra de carbono é seu desempenho com relação a resistência mecânica, entre as opções é o que mais se destaca, a resistência a agentes químicos, estabilidade térmica entre outros, mas como desvantagens o custo elevado quando comparado com as outras opções. a elevada condutibilidade térmica e resistência ao impacto reduzida (MARINUCCI, 2019). Assim como a fibra de vidro a fibra de carbono é fabricada em diferentes formas, na Figura 11 podemos ver a manta de fibra de carbono.



Figura 1111-Manta de fibra de carbono. Retirado de Advanced Vacuum.

A aplicação da fibra de carbono normalmente é utilizada em aviões modernos, bicicletas de alto desempenho, assim como na indústria automobilística. Normalmente está associada a produtos de alto desempenho que pode ser observado na Tabela 4 para análises.

Tabela 4: Propriedades da Fibra de carbono. Fonte Marinucci (2019).

	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Deformação na ruptura (%)	Densidade (g.cm³)
Elevada resistência (HT)	3400	238	1,5	1,77
Alto módulo (HM)	2350	358	0,6	1,79
Módulo intermediário (IM)	4100	295	1,5	1,77

No processo de fabricação da fibra, existe a etapa de carbonização, e de acordo com a quantidade de carbono que é alcançado, pode-se classificar a fibra em classes. Na tabela apresentada acima, temos as classes de fibras que possuem alta resistência mecânica (HT), têm

as fibras de alto módulo de elasticidade (HM) e as fibras de módulo intermediário (IM), podendo assim serem escolhidas de acordo com a necessidade do usuário.

2.4. MATRIZES

As matrizes nos materiais compósitos são quem garantem a estrutura, nela ocorre a distribuição e transferência de tensões mecânicas, a manutenção da orientação das fibras e protege material contra abrasão e efeitos externos. A matriz envolve o reforço preenchendo os espaços vazios e assim formando o material compósito. As matrizes são cerâmicas, poliméricas ou metálicas. Nesse estudo abordaremos as de origem poliméricas pois são as mais comuns tratando-se de aplicações com fibras naturais ou sintéticas (CULTURA AERONÁUTICA AVIAÇÃO.ORG, 2015).

As matrizes poliméricas se dividem em dois grupos: os termoplásticos e os termorrígidos.

As moléculas que compõe as matrizes termoplásticas possuem ligações secundárias fracas ou forças intermoleculares como Van der Waals, o que possibilita uma mudança física quando aquecida, do estado sólido para o líquido e ao esfriar se solidifica outra vez, tendo a característica de ser um processo reversível. A possibilidade que os termoplásticos têm de ser totalmente alterados fisicamente, atribui a característica de serem uns materiais polimerizados, pode-se amaciar ou derreter usando fonte de calor.

Outra característica dos termoplásticos é que seu processamento é mais rápido e tem transição vítrea (efeito térmico que caracteriza plásticos, materiais amorfos e semicristalinos) mais alta e temperaturas de uso de até 400°C, logo, são mais tenazes quando à fratura e menos sensíveis à absorção de umidade. O lado negativo desses materiais é que não há o controle do seu processamento apresentando viscoelasticidade e uma vida curta em fadiga (DANIEL, 2006).

Já as resinas termofixas têm sido utilizadas como matrizes em compósitos devido às suas características químicas, propriedades mecânicas, resistência a solventes, e estabilidade a temperaturas elevadas.

A maior parte das matrizes poliméricas utilizadas em compósitos de alto desempenho é de resinas termofixas, destacando-se as resinas epóxi, poliéster, fenólicas e mais recentemente, compósitos reforçados a base de poliamidas. O uso de termoplásticos, convencionais e de engenharia, como matriz polimérica tem se restringido a compósitos de médio desempenho. A

limitada estabilidade térmica dos termoplásticos à elevadas temperaturas têm tornado seu uso restrito (SILVA, 2014).

2.4.1. Resina Epóxi

As resinas de epóxi curado apresentam dureza, resistência mecânica, resistência ao calor, boas propriedades elétricas e são resistentes a vários produtos químicos. Quando as resinas epóxi são reforçadas com fibra de vidro, têm-se a resistência necessária para o uso em tubulações, na indústria aeroespacial, vasos de pressão, revestimentos marinhos, revestimentos de eletrodomésticos, equipamentos industriais selantes e etc (WILEY, 2015).

Embora apresente excelentes propriedades mecânicas, a resina epóxi apresenta baixa resistência a intempéries. Além de o processo de cura ser mais complexo quando comparado à resina poliéster por exemplo. A retirada de umidade é um importante fator durante o processo de fabricação tornando a aplicação mais complexa (SILVA, 2014).

A resina epóxi é cerca de quatro vezes mais cara que a resina poliéster, o alto custo também está associado à boa processabilidade quando vista do ponto de vista da viscosidade e os tempos de cura longos. Porém possuem formulação de base de caráter frágil, ponto negativo que pode ser corrigido com a adição de elementos que proporcionem a elevação da tenacidade.

2.4.2. Resina de Poliéster

As resinas de poliéster são divididas em duas classes: saturadas e insaturadas. O grupo das resinas saturadas é comercializado em formato filme ou fibra e resinas termoplásticas. Já as resinas de poliéster insaturadas são as mais utilizadas por ter um baixo custo, de fácil processamento e um bom empenho quando relacionadas às propriedades mecânicas, elétricas e químicas. As resinas insaturadas também se dividem em grupos, em ordem crescente de resistência química são: resina ortoftálicas, de aplicação geral, resinas isoftálicas, que possuem boa resistência térmica e tem aplicabilidade em meios levemente agressivos, úmidos e por último a resina bisfenólica, que são usadas e meios agressivos (ácido) (SERCEL, 2018).

2.5. JUNTAS COLADAS

A definição para junta é o conjunto final de adesivo, aderentes às interfaces associadas, o adesivo utilizado pode ser de natureza polimérica, deve ligar as partes e resistir a separação.

Também existem os adesivos estruturais que são capazes de resistir a esforços de até 7 MPa (QUEIROZ, 2018).

A utilização de adesivos estruturais ganha espaço na indústria por ser uma tecnologia que permite uma melhor distribuição de tensões e diminui as concentrações de tensões que surgem com o uso de parafusos ou rebites (NETO, 2016).

Existem diferentes formas de união entre diferentes peças como pode-se observar na Figura 12, mas as juntas coladas apresentam vantagens significativas para o uso em materiais compósitos.

As principais vantagens da utilização das ligações adesivas estruturais são:

- Distribuição praticamente uniforme das tensões na junta colada em relação à largura, permitindo uma maior rigidez e melhor resistência à fadiga;
- Possibilidade de ligação com diversos materiais;
- Junção de chapas finas;
- Boa resistência à corrosão;
- Boa capacidade de vedação;
- Possibilidade de ligar formas complexas;
- Melhor acabamento;
- Amortecimento de vibrações.

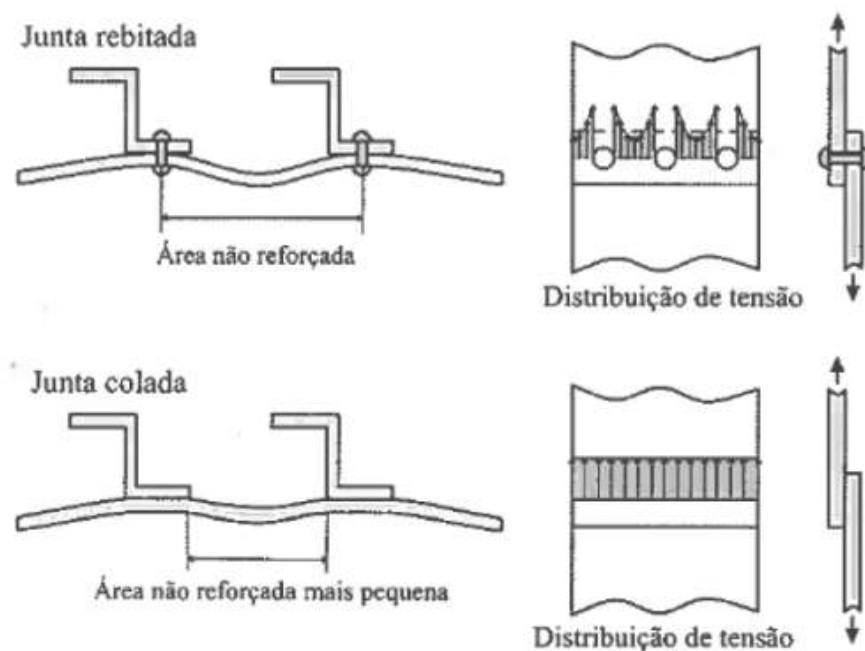


Figura 12-Comparação da distribuição de tensões de uma junta rebiteada e colada. Fonte: José, 2011.

Para que receba a classificação de adesivo, é necessário que apresente uma resistência ao cisalhamento de 5 a 10 MPa. O modo de cura limita a funcionalidade da aplicação do compósito, a cura varia por reação química, perda de solvente, perda de água ou por arrefecimento (QUEIROZ, 2018).

Os materiais adesivos são utilizados na indústria em diferentes áreas, na Figura 13 podemos ver o uso na fabricação de aeronaves.

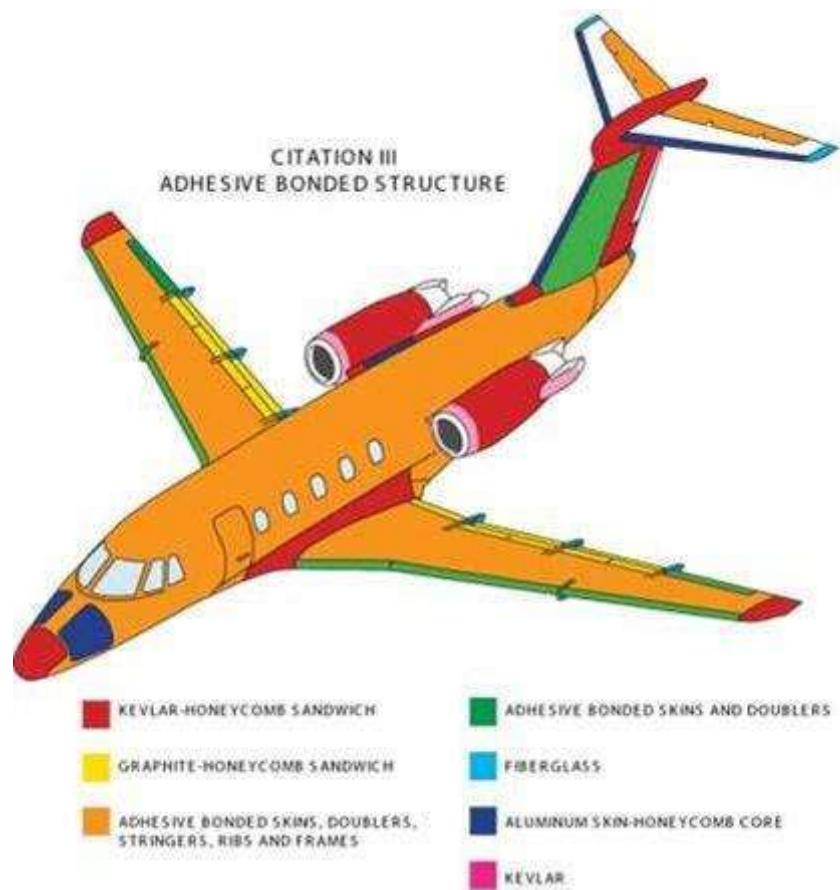


Figura 13- Partes do avião que são fixadas através de adesivos. Fonte: José, 2011.

2.6. FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS.

Para a fabricação de materiais compósito usam-se dois tipos de moldes, o aberto e o fechado, onde cada um apresenta métodos diversificados para sua fabricação (COMPOSITESLAB. 2019) como observado na Figura 14.

Com o uso de molde aberto os materiais são colocados no molde aberto e a cura acontece exposta ao ar. Os principais tipos de fabricação que usam molde aberto são a laminação manual, *Spray-up* e *Filament winding*. Sendo a laminação manual a mais comum.

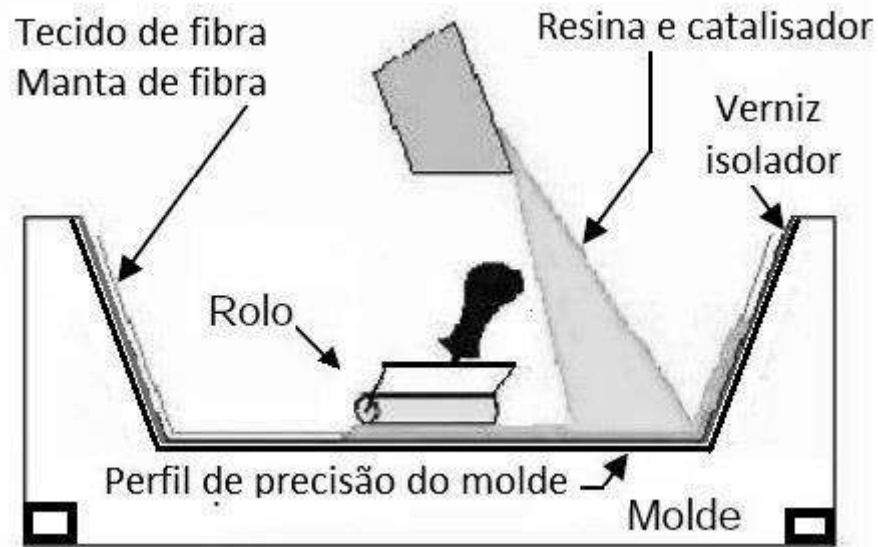


Figura 1414-Exemplo do uso de molde aberto para fabricação. Fonte: Oliveira, 2018.

Com o molde fechado a cura dos materiais ocorre dentro do molde que apresenta duas faces como pode ser observado na Figura 15, também pode ocorrer dentro de uma bolsa selada a vácuo. Para essa técnica geralmente é necessário o uso de equipamentos, o método mais comum é o uso de molde por compressão por ser mais barato e simples de ser executado, esse método pode ser executado em conjunto com a laminação manual, após a laminação manual o molde é fechado e prensado. Após a todo o processo podemos retirar a placa do molde que podemos ver um exemplo na Figura 16 e ela está pronta para ser cortada e assim fabricar os corpos de prova.

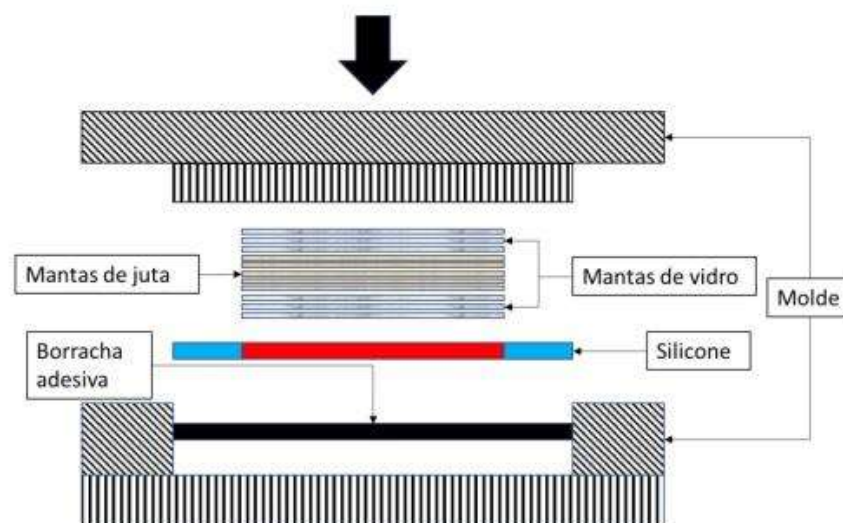


Figura 1515-Esquemática de molde para fabricação de placas de fibras. Fonte: Queiroz, 2021.



Figura 1616-Placa fabricada com fibra natural. 17Fonte: De 18autoria própria.

2.7. ENSAIOS

Para caracterização mecânica dos materiais são realizados ensaios destrutivos com espécimes normalizados que seguem padrões de normas como da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Como exemplo para este trabalho podemos citar o uso da norma ASTM 3039 que trata do ensaio de tração de polímeros e materiais compósitos (OLIVEIRA, 2018). Também são realizados ensaio de juntas devido a necessidade da equipe em juntar as diferentes partes da carenagem do veículo, logo as juntas coladas servem como alternativas.

2.7.1. Ensaio de tração

O ensaio de tração é realizado através da aplicação de uma força de tração axial em um corpo de prova como esquematizado na Figura 17. Esse esforço, no qual o corpo de prova é submetido, é crescente que deforma o corpo de prova até a ruptura, portanto é um ensaio mecânico destrutivo. O equipamento que realiza o ensaio é capaz de medir a força aplicada e a deformação do corpo de prova, com esses valores é possível montar um gráfico de tensão-deformação que proporciona a resistência à tração do material e será possível comparar com outros tipos de materiais. (BIOPDI).

Este tipo de ensaio também utiliza de extensômetro para medir a deformação real do espécime. Os resultados são registrados em computadores onde a carga se encontra em função do alongamento final, com esses dados pode-se gerar um gráfico relacionando tensão e deformação (OLIVEIRA, 2018).

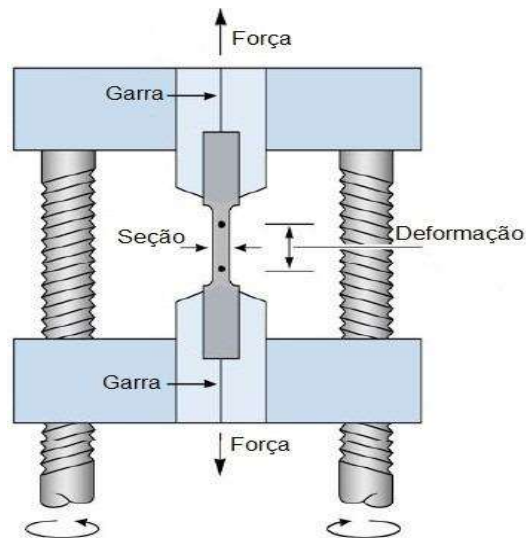


Figura 1719-Esquemática de ensaio de tração. Fonte: Biopdi.

2.7.2. Ensaio de flexão

O ensaio de flexão é usado para determinar o comportamento do material, a resistência à flexão e o módulo de elasticidade. Ele consiste na aplicação de uma força na parte central do corpo de prova em formato de barra que fica apoiado em suas extremidades. Da mesma forma como no ensaio de tração a força aplicada é crescente até que ocorra a ruptura do material ou nesse caso tenha uma deformação significativa. O objetivo deste ensaio também é realizar a

comparação entre os diferentes materiais escolhidos para este projeto e dessa forma selecionar o que melhor se aplica ao projeto (NEWTECH). Na Figura 18 podemos observar a comparação em um ensaio de flexão no início, a esquerda e no final, a direita.

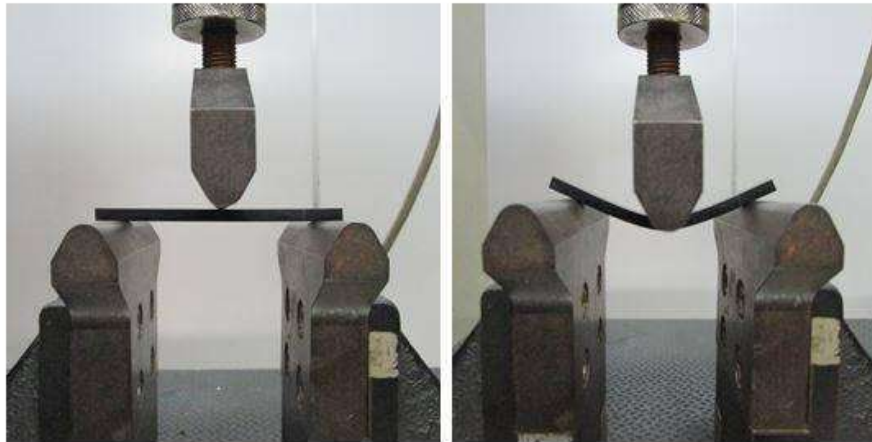


Figura 1820-Ensaio de flexão. Fonte: NewTech.

2.7.3. Ensaio de impacto Charpy

O ensaio de impacto é realizado através da aplicação de uma força de forma brusca em um corpo de prova, como esquematizado na Figura 19. Esse ensaio tem como objetivo determinar características do material como sua ductilidade e a tenacidade. Através do uso de um microscópio a observação da fratura do material também é possível determinar se ocorre uma fratura frágil, quando o material apresenta pouca ou não apresenta deformação plástica, ocorrendo uma rápida propagação das trincas no material, ou uma fratura dúctil a propagação das trincas é lenta o que proporciona ao material, que fica tensionado devido a aplicação da força, uma deformação plástica (INFOSOLDA, 2013).

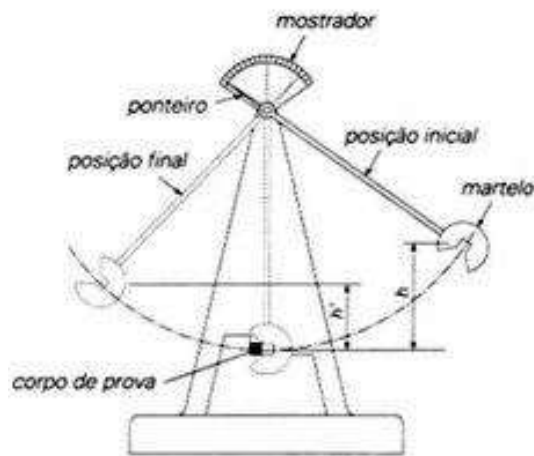


Figura 1921-Esquematização de ensaio de Impacto. Fonte: Infosolda, 2013.

2.7.4. Juntas Coladas

Como mostrado anteriormente o ensaio de junta é uma maneira de caracterizar as propriedades mecânicas quando se trata de fixar diferentes partes. Esse tipo de ensaio apresenta diferentes tipos de falhas.

As falhas que podem ocorrer em materiais compósitos com aplicação de adesivos para juntas são variadas, desde a falha no próprio material, de forma que a junta não é afetada, ou diretamente na superfície onde ocorreu a aplicação do adesivo.

A ASTM estabelece seis tipos de falhas principais para juntas do tipo single-lap, que é a sobreposição simples e é a que será empregada neste projeto (DA SILVA, 2017).

- Falha adesiva;
- Falha coesiva;
- Falha coesiva de fina camada;
- Falha de rompimento leve da fibra;
- Falha de rompimento da fibra;
- Falha na haste do aderente.

Na falha adesiva a ruptura ocorre na união entre o adesivo e o aderente. Na falha coesiva a ruptura ocorre no adesivo. Para o caso da falha coesiva de fina camada a falha ocorre no adesivo, mas com muita proximidade a superfície entre aderente e adesivo. Na falha de rompimento leve da fibra, ocorre a ruptura da primeira camada de matriz da peça. Para a falha de rompimento da fibra ocorre um rompimento mais profundo que no caso anterior, ocasionando rompimento das fibras. E o último caso que é o rompimento da haste, ocorre o rompimento fora da região do adesivo.

2.8. TAMANHO DAS FIBRAS CURTAS.

O comprimento de fibra que proporciona melhor resistência de acordo com o que foi encontrado em literatura fica entre 40 e 50 mm, como pode ser visto em. Dessa forma se optou pela adoção desta medida para realização do corte das fibras empregadas neste estudo (DA SILVA, 2010).

3. PROPOSTA DO TRABALHO

A tendência futura de design de carro leve aumenta ainda mais o potencial da aplicação de compósitos de fibra natural, levando em consideração que os carros nos últimos anos cada vez mais buscam a redução do peso para melhorar consumo e segurança (MARQUES et al, 2006). Por esse e outros motivos que a necessidade de evoluir com as junções de materiais envolve muitas pesquisas e é cobiçado por todas as equipes que participam da Shell Eco-Marathon.

As normas para a competição especificam as dimensões de carenagem e o peso que deve ser a carenagem e o conjunto total do carro. Na estrutura da carenagem é importante posicionar todo o sistema de forma harmônica, existe a escolha da quantidade de rodas entre 3 e 4, todas precisam tocar o chão e ser totalmente fechado, outras especificações são: ter barra de rolagem e um corta-fogo para a proteção do piloto. Não existe uma exigência quanto ao formato do veículo, porém a necessidade de achar um formato que seja aerodinâmico é uma prioridade para as equipes que procuram vencer.

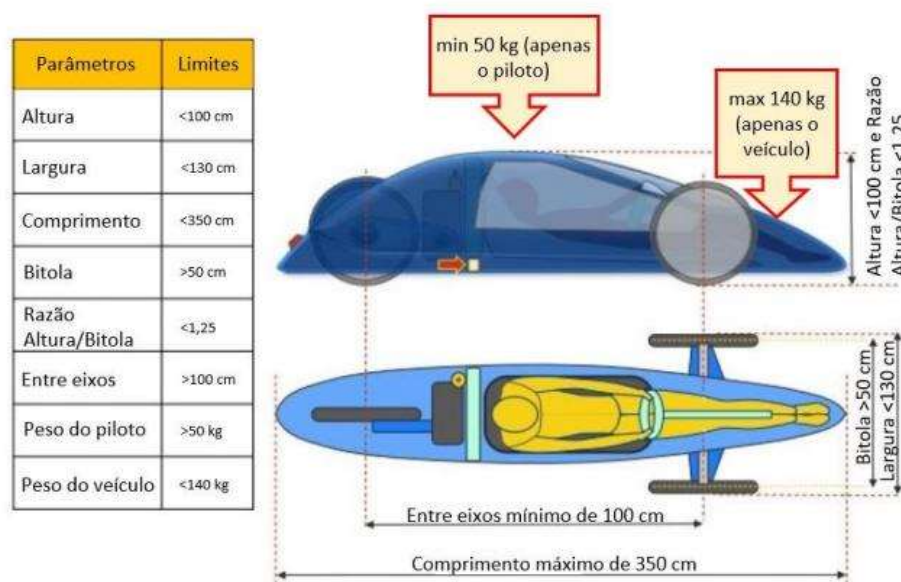


Figura 2022-Dimensões exigidas carro e carenagem. Fonte: Shell Eco-Marathon, 2021.

As características mostradas devem ser respeitadas para que exista um padrão de similaridade entre os diferentes protótipos na competição. Dessa forma podemos notar o comprimento máximo de 3500 mm, altura máxima de 1000 mm, distância entre eixos de 1000 mm e largura total máxima de 1300 mm. (SHELL ECO-MARATHON, 2021).

A configuração de 3 rodas, como mostrada na Figura 20, é a mais favorável visto que quanto mais rodas mais resistência ao movimento, são duas rodas na frente e uma atrás. E os fatores que mais impactam na eficiência requerida é o aero design, a visibilidade do piloto, a estabilidade e a resistência ao capotamento. Na Figura 21, apresenta-se a figura que mostra o melhor formato que a carenagem, junto do carro, deve ter para que se tenha um coeficiente de arrasto menor possível.

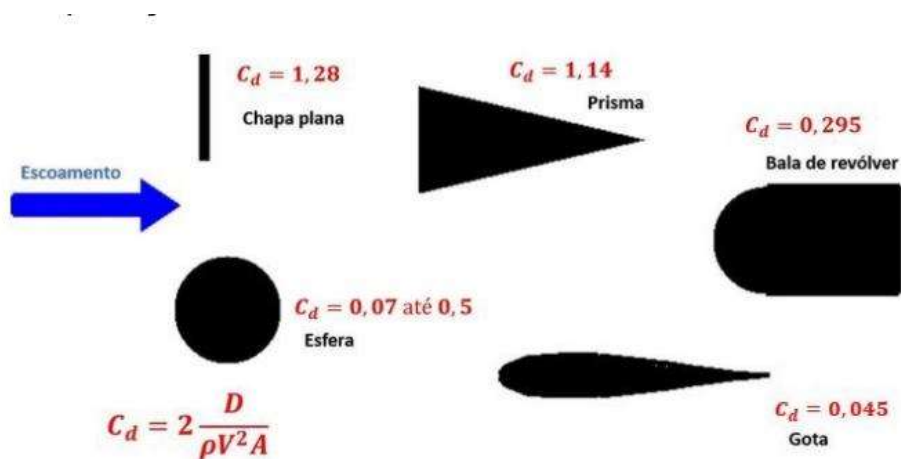


Figura 2123- Coeficiente de arrasto de geometrias diversas. Fonte Marchiori, 2017.

Analisando a melhor opção de formato para o carro chega-se à conclusão de que o que o formato que apresenta menor coeficiente de atrito, mesmo sabendo que não será o número exato que está apresentado, o formato de gota é a escolha melhor e é o objetivo de cada equipe, porém não é simples sua construção e sua construção pode ter um custo elevado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PROTÓTIPO

O protótipo da equipe é um veículo com um formato bem aerodinâmico, mas que também apresenta certa facilidade para confecção. A equipe realizou estudos através de softwares como SolidWorks® e outras ferramentas para estudo aerodinâmico e elaboração da carenagem em si. Na Figura 22-A podemos observar a vista lateral da carenagem do protótipo desenvolvido pela equipe, e na Figura 22-B a vista frontal.

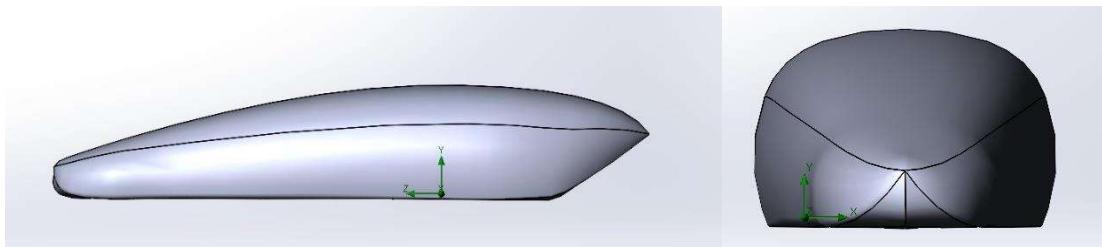


Figura 22 A e B 24-Vista lateral e frontal da carenagem do veículo. 25Fonte: De 26autoria própria.

4.2. FIBRA ESCOLHIDA

A fibra natural que foi escolhida para o desenvolvimento do trabalho é a fibra de curauá devido às suas boas propriedades mecânicas. Entre as fibras naturais, essa foi a que apresentou melhor resultado conforme já mostrado na literatura e a que já apresenta um interesse de ser estudada pela indústria automotiva, todas as fibras produzidas no Brasil têm uma faixa de preço parecida.

Sabendo que a utilização de compósitos reforçados com fibras tem duas subclassificações que são o uso de fibras contínuas (alinhadas) ou descontínuas curtas; a utilização das fibras no seu modo curto tenta-se obter um material que adquira resistência. Pois os compósitos que têm mais resistência são as unidirecionais (CALLISTER,2002). Apesar da comparação criada anteriormente, serão usadas as fibras de curauá curtas por questão de disponibilidade e de suas propriedades. Na Figura 23 podemos observar a fibra de curauá in natura.



Figura 2327-Fibra de curauá in natura. Fonte: De 28autoria própria.

Para que a fibra de curauá seja utilizada como reforço, é necessário que passem por um processo de escovação e limpeza, na Figura 24 podemos observar a lavagem da fibra. O comprimento em que são cortadas vão de acordo com a finalidade das propriedades mecânicas desejadas e após o corte são secas em estufa, para que reduza o teor de umidade. A superfície da fibra permanece intacta após todo o processo (COSTA et al., 2020).

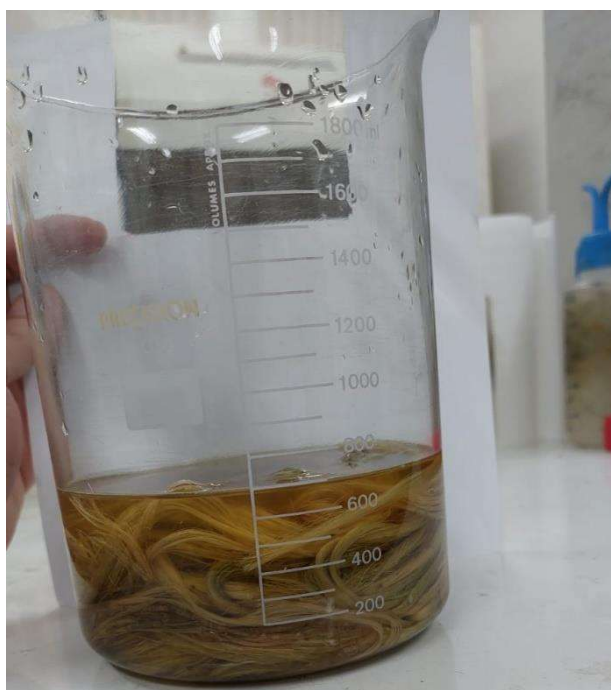


Figura 2429-Fibra de Curauá lavada com água destilada. 30Fonte: de 31autoria própria.

O processo de secagem ocorre em estufa de esterilização Lucadema (São Paulo, SP) com temperatura de 100º C e duração de 3 horas. A estufa utilizada é a que podemos observar na Figura 25:



Figura 2532-Estufa para secagem da fibra. 33Fonte: De 34autoria própria.

Após o processo de secagem a fibra de curauá é armazenada em um pote hermético e com sílica, para impedir a absorção e umidade. Para posteriormente serem cortadas. Na Figura 26 podemos notar as fibras armazenadas.



Figura 2635-Fibra de curauá após secagem. 3637Fonte: De 38autoria própria.

Após a secagem das fibras foi realizado o corte, já que foi definido o uso de fibra curta com comprimento definido para 45 mm. Para este processo a todo momento as fibras eram medidas ao serem cortadas e após o corte foi realizado uma análise de imagem com software Image J, capaz de analisar através de imagem o tamanho de partículas, onde foi encontrado um tamanho médio de fibra de 45,83 mm com desvio padrão de 3,68 mm. Na Figura 27 podemos ver as fibras já cortadas no tamanho definido.



Figura 2739-Fibra curta de curauá. 40Fonte: De 41autoria própria.

Dentre as opções de fibras sintéticas a escolhida foi o tecido de fibra de vidro RE200P *E-composites* devido ao fato dela satisfazer as características necessárias ao projeto e ter um custo menor quando comparado a fibra de carbono. A fibra de carbono é um material composto de extrema qualidade, mas é usado normalmente em produtos de desempenho elevado o que justifica o seu custo superior.

As propriedades mecânicas da fibra escolhida podem ser observadas na Tabela 5:

Tabela 5: Propriedades mecânicas fibra de vidro RE200P *E-composites*.

	Unidade	Valor
Carga de ruptura da trama	[Kgf/cm]	50
Carga de Ruptura do Urdume	[Kgf/cm]	50
Espessura	[mm]	0,2
Peso	[g/m2]	200

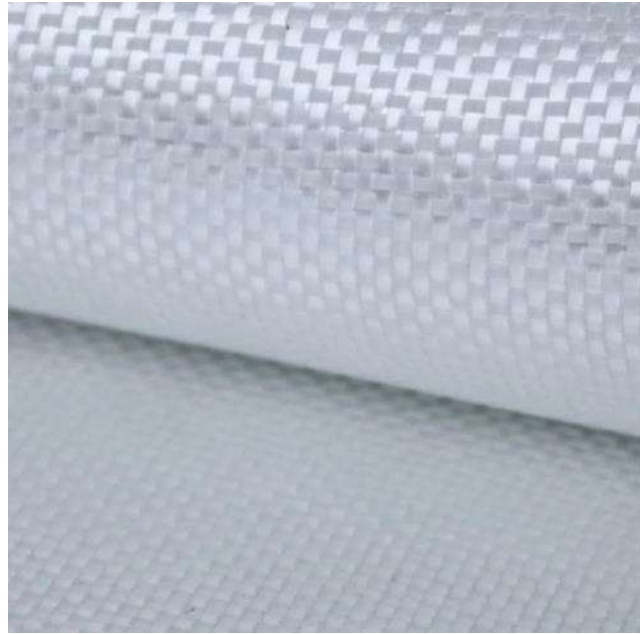


Figura 2842-Tecido de fibra de vidro bidirecional. Retirado de E-composites.

Também foi abordado o uso de compósitos híbridos, mesclando o uso de fibra natural com fibra sintética, sendo assim possibilitando o estudo das seguintes combinações:

- Fibra de curauá pura
 - Curauá 30G;
 - Curauá 40G.
- 2 casos simétricos:
 - Curauá com 1 camada de vidro em cada lado (GCG);
 - Curauá com 2 camadas de vidro em cada lado (GGCGG).
- 2 casos assimétricos:
 - Curauá com 1 camada de vidro (GC);
 - Curauá com 2 camadas de vidro (GGC).

4.3. FABRICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Para a fabricação das placas para os corpos de prova foram usadas as fibras e combinações mostradas no tópico anterior junto a resina epóxi. Cada manta é pesada para realizar o cálculo da quantidade de resina e endurecedor a ser utilizado. O percentual de reforço fibroso em massa é de 37% para o caso de curauá puro. Para o caso com 30 gramas de curauá. A proporção de resina e endurecedor segue a divisão de 100:33 (QUEIROZ, 2021).

Todas as placas foram fabricadas com o uso de um molde fabricado em aço, espuma adesiva e silicone, elementos mostrados na Figura 29.



Figura 2943-Molde em aço retificado 1020. 444546Fonte: De 47**autoria própria.**

A espuma adesiva a ser usada é a de modelo P 285-008, PRORUBBER, São Paulo - Brasil, de poliuretano expandido com 18 mm de largura e 8 mm de altura mostrada na Figura 30. O uso da espuma adesiva de borracha no molde para fabricação das placas tem como objetivo vedar e impedir a saída de material. Para facilitar a remoção da peça do molde após a cura, o molde recebe tratamento químico desmoldante.



Figura 3048-Espuma adesiva usada no molde. 495051Fonte: De 52**autoria própria.**

Para a fabricação das placas no caso do curauá puro (Curauá 30G e Curauá 40G), primeiro se adiciona uma quantidade de mistura homogênea da resina com o endurecedor até cobrir toda a placa do molde com uma fina camada e então se adiciona toda a fibra de curauá e por fim todo o restante da mistura de resina e endurecedor. A proporção mássica empregada de resina e endurecedor foi de 100:33 com quantidade de 80g de resina para 26,5 de endurecedor. Na Figura 31 podemos observar o processo de mistura da resina e do endurecedor. No caso das placas com fibra de vidro, o processo inicial é o mesmo, mas após a camada de resina e endurecedor ser adicionada a placa do molde são colocadas as fibras de vidro bidirecional e após isso a fibra de curauá.



Figura 3153-Processo de mistura da resina com endurecedor. 545556Fonte: De 57autoria própria.

Podemos ver um exemplo da laminação dos compósitos citados acima para que ocorra a fabricação de uma placa de fibra natural. O molde preparado, uma camada de silicone e as fibras, fabricando uma placa de 220 mm x 130 mm, como mostrado na Figura 32-B.



Figura 32 A58-Fabricação da placa com uso de molde. B- Placa após cura e retirada do molde.
 596061Fonte: De 62autoria própria. 636465Fonte: De 66autoria própria.

Como podemos ver na Figura 32 A foram utilizados espaçadores para definição da espessura, que ficou definida em 5 mm. Com o auxílio de uma prensa hidráulica a pressão aplicada no molde proporciona que as superfícies fiquem faceadas. A prensa hidráulica utilizada, mostrada na Figura 33, é aquecida, modelo Solab 12/20 disponível no LADES/CEFET-RJ.

Os corpos de prova foram cortados com uma serra e disco de carbeto de tungstênio nos tamanhos padrões para realização dos ensaios



Figura 3367-Prensa hidráulica aquecida utilizada. 686970Fonte: De 71autoria própria.

4.4. FABRICAÇÃO DAS JUNTAS

Para a fabricação das juntas, foi usado um adesivo estrutural BETAMATE 2096, fornecido pela DOW Brasil, que tem tempo de cura completa em 2 horas a uma temperatura de 60 graus Celsius. O tipo de junta adotado neste estudo foi de sobreposição simples, onde uma peça a ser colada é posta sobre a outra com uma camada de adesivo entre elas. Para a fabricação deste tipo de corpo de prova foram utilizados moldes e espaçadores para que as peças ficassem posicionadas da maneira correta como podemos ver na Figura 34:



Figura 3472-Molde para fabricação de junta. 737475Fonte: De 76autoria própria.

A espessura da camada adesiva utilizada foi de 0,2 mm tendo sido controlada com espaçadores de aço. Para a fabricação da junta foi necessário preparar a superfície das peças, através da abrasão realizada por uma lixa 100, com angulação de +45 graus e - 45 graus, para melhorar a aderência do adesivo à peça. Após isso os corpos de prova foram limpos com acetona P.A. 99% para evitar falhas adesivas e posicionados no molde como visto na imagem anterior.

4.5. FABRICAÇÃO DO MODELO

Para a fabricação do modelo primeiro será fabricado um molde através de impressora 3D disponível no LADES, laboratório do Cefet/RJ, a mesma que podemos observar na Figura 35. Após isso ocorrerá a fabricação do modelo em escala reduzida. O modelo de impressora disponível é a 3D pro - GTMAX3D core A1V2. O modelo é capaz de imprimir nas dimensões

de 300 x 200 x 300 mm. Sendo um total de 18 litros. Os filamentos apresentam diâmetro de 1,75 mm e a resolução de camada varia entre 0,32 mm e 0,05 mm.



Figura 3577-Modelo de impressora 3D disponível. Retirado de GTMAX3D Equipamentos eletrônicos e materiais plásticos.

Com o uso do molde, a laminação será realizada para fabricação do protótipo com o uso de fibras curtas em um molde macho e fêmea, parecido com a fabricação das placas de fibras, que será levemente apertado para que o material fique com a mesma espessura por toda a peça. A cura das peças será realizada a temperatura ambiente. Como o protótipo apresenta comprimento significativo e não seria possível imprimir apenas um molde na impressora, o protótipo será fabricado através da junção de diferentes partes com o uso de um adesivo epóxi. O adesivo escolhido foi o AR345 fornecido por E-composites como podemos observar na Figura 36 e com suas propriedades descritas na Tabela 6.



Figura 3678-Adesivo epoxy AR345. Fonte E-composites.

Tabela 6: Características mecânicas da resina escolhida. Fonte 79E-composites.

Propriedade	Unidade	Valor
Densidade da resina - ASTM E-201	[Kg/m ³]	1066,5
Densidade do endurecedor - ASTM E-201	[Kg/m ³]	982,6
Resistência à flexão- ASTM D-790	[MPa]	95,84
Resistência à tração – ASTM D-638	[MPa]	53,09
Resistência a compressão – ASTM D-695	[MPa]	90,32

4.6. RESINA ESCOLHIDA

Entre as resinas estudadas a escolhida foi a resina epóxi HEX 135 SLOW, como podemos notar na Figura 37, por apresentar uma boa compatibilidade com as fibras empregadas no estudo e por também já ser objeto de estudo na universidade em estudos semelhantes com uso de fibras naturais.



Figura 3780-Resina e endurecedor escolhidos, resina epóxi HEX 135. Retirado de E composites.

As propriedades mecânicas da resina podem ser encontradas na Tabela 7.

Tabela 7: Características mecânicas da resina escolhida. Fonte Barracuda Advanced Composites.

Propriedade	Unidade	Valor
Densidade- DIN EN ISSO 1183-1	[g/cm ³]	1,10 – 1,20
Resistência à flexão-DIN EN ISO 178	[MPa]	100 - 120
Módulo de elasticidade- DIN EN 178	[GPa]	2,8 – 3,2
Resistência à tração – DIN EN ISO 527-2	[MPa]	65 - 75
Resistência a compressão – DIN EN ISO 604	[MPa]	80 - 100
Alongamento na ruptura – DIN EN ISSO 527-2	%	7,0 – 10,0
Força de impacto – ISSO 179-1	[Kj/m ²]	60 - 80
Absorção de água a 23°C – DIN EN ISO 175	24 h [%]	0,10 – 0,50
Cura 8h a 70°C		

4.7. TESTES DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.

Os ensaios propostos por este estudo são os ensaios de tração, flexão, impacto Charpy e ensaio de junta. Cada ensaio apresenta normas específicas a serem seguidas que definem métodos de ensaio.

4.7.1. Ensaio de Tração

Para o ensaio de tração a máquina disponível é a INSTRON® 5966 (LADES/CEFET-RJ). As normas utilizadas para esse tipo de ensaio são a ASTM D638 e a ASTM D3039

A geometria a ser usada com base na norma apresenta dimensões de 220 mm x 15 mm e a espessura de 5 mm. A célula de carga a ser utilizada é de 10 kN e velocidade de 1mm/min. Na Figura 38 pode ser vista a máquina que será utilizada para os ensaios.



Figura 3881-Máquina de ensaio de tração disponível. Fonte Queiroz, 2018.

4.7.2. Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão é baseado na norma ASTM D 790 com uma taxa de comprimento/espessura de 1:32 e o método a ser utilizado será o sistema de flexão de três pontos como podemos notar na Figura 39. A máquina também está disponível no LADES, Cefet/RJ, que é a mesma de tração descrita acima.

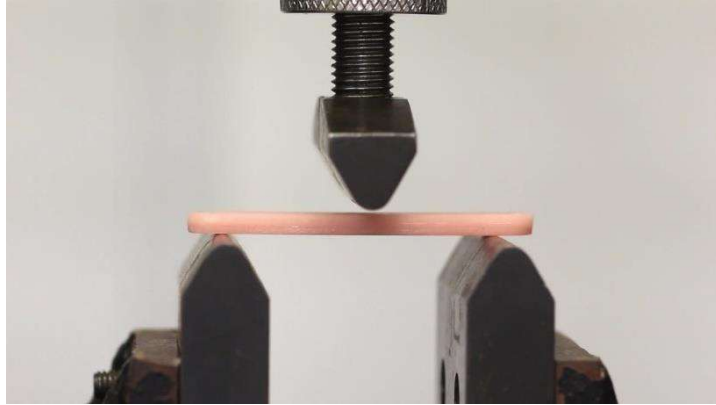


Figura 8239-Exemplo de ensaio de flexão. Fonte: IPTV USP 2018.

4.7.3. Ensaio de Impacto.

A norma empregada nesse ensaio é a ASTM D 4812 que define a geometria do corpo de prova em 80 x 13mm. A máquina disponível para o teste é a WPS 30 (Leipzig, Alemanha), disponibilizada pelo LAMAT/CEFET-RJ. A máquina utilizada, como vemos na Figura 40, apresenta martelo de energia de 30 kgf e erro de 0,0075 kgf.



Figura 4083-Máquina para ensaio de impacto disponível no laboratório de materiais, LAMAT, Cefet/RJ.

4.7.4. Ensaio de junta colada.

O ensaio de junta foi realizado na mesma máquina do ensaio de tração (INSTRON® 5966 [LADES/CEFET-RJ]), seguindo as normas recomendadas para este tipo de ensaio, ASTM D 1002. A montagem do ensaio pode ser vista na imagem a seguir:



Figura 4184-Ensaio de junta. 858687Fonte: De 88autoria própria.

Como é possível observar na Figura 41, foram utilizados espaçadores da mesma espessura do compósito para minimizar as tensões de arrancamento ocasionadas pela tendência de rotação devido a sobreposição.

5. RESULTADO E DISCUSSÕES

Os casos que foram desenvolvidos para o estudo comparativo das propriedades mecânicas dos compósitos, serão discutidos neste capítulo. Serão apresentados os gráficos estatísticos e os representativos, que mostrarão a média dos resultados com o desvio padrão e o comportamento do material durante o ensaio, respectivamente.

5.1. RESULTADOS

Inicialmente foram testadas proporções diferentes da massa da fibra natural de curauá pura, com 30 gramas - proporção de 28% da massa total e 40 gramas com uma proporção de 37% da massa total.

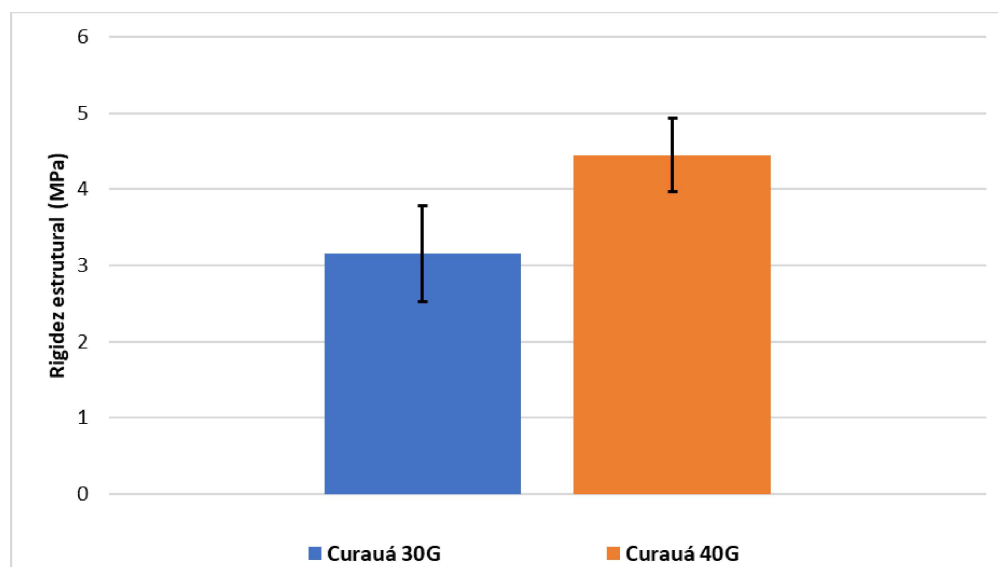


Figura 4289-Comparação da rigidez para 30g e 40g de fibra natural.

Tabela 8: Dados sobre resistência à tração e rigidez para ensaio de tração e flexão e desvio padrão.

Tração		Resistência a tração	Desvio padrão	Módulo de Young (MPa)	Desvio padrão
	Curauá 30g	34,97	± 3,35	5,49	± 0,98
	Curauá 40g	31,14	± 5,18	5,41	± 0,79
Flexão		Resistência a flexão	Desvio padrão	Rigidez estrutural (MPa)	Desvio padrão
	Curauá 30g	59,71	± 4.16	3,15	± 0.63
	Curauá 40g	72,61	± 9.61	4,45	± 0.47

Pela análise dos ensaios realizados, pode-se concluir que a porcentagem de 37% de massa de curauá tem um melhor desempenho, como podemos ver na Figura 42. Por isso, todas as placas fabricadas, posteriores a essa análise, foram utilizadas 40g de curauá.

Com base na Tabela 8 podemos observar a diferença obtida para os casos utilizando 30 e 40 gramas de curauá. No caso do ensaio de flexão tivemos uma melhora de 21% com relação a resistência à flexão e uma melhora de 41% com relação a rigidez. Analisando os resultados do desvio padrão, também se opta em prosseguir os estudos utilizando 40g de curauá.

Para o caso do ensaio de tração foi observado uma diminuição se levarmos em consideração a média dos corpos de prova testados, mas vale destacar que para este ensaio os valores foram próximos, como mostrado na Tabela 8, e levando em conta o desvio padrão temos que a diminuição observada não foi significativa.

5.2. Ensaio De Tração

Os ensaios de tração são realizados utilizando uma célula de carga de 10kN, os diferentes casos dão resultados que provam que a presença da fibra sintética de vidro, difere no resultado final do compósito.

Na Tabela 10 podemos observar os valores obtidos para os diferentes casos no ensaio de tração.

Tabela 9-Resultados obtidos no ensaio de tração.

	Ensaio de tração			
	Resistência a tração (MPa)		Modulo de Young (MPa)	
casos	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Curauá 30G	34,97	3,35	5,49	0,99
Curauá 40G	31,14	6,21	5,41	0,80
GCG	52,21	3,36	6,67	1,08
GGCGG	76,65	6,59	7,09	0,53
GC	50,93	5,34	5,78	0,73
GGC	51,91	9,32	6,91	0,82

Na Figura 43 podemos observar o comportamento dos diferentes casos no ensaio de tração. Nota-se que todos os casos seguem um mesmo padrão, com inclinação muito próxima e tendo apenas variação na tensão máxima alcançada em cada caso.

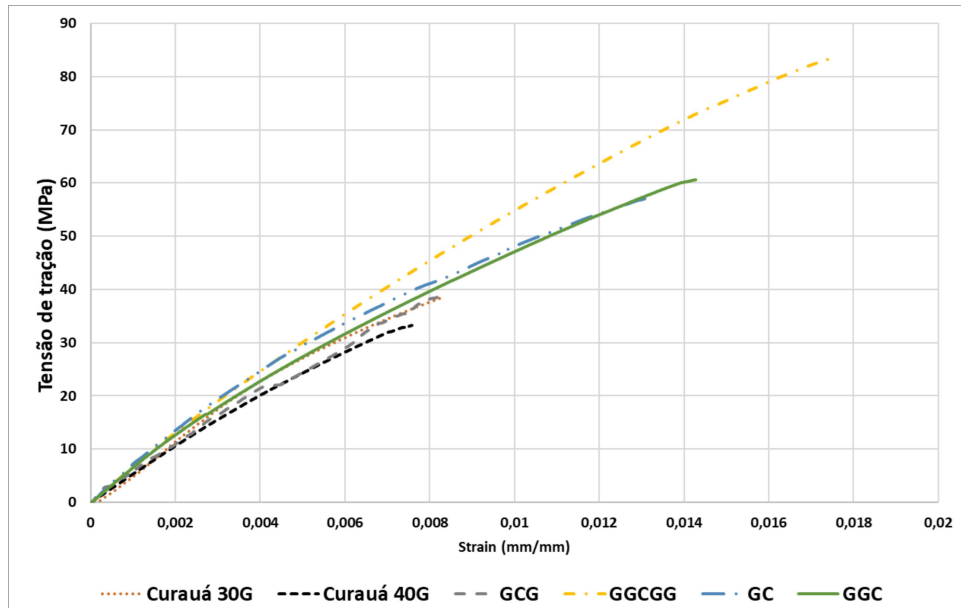


Figura 4390-Gráfico tensão-Deformação para diferentes casos em ensaio de tração.

Na Figura 44 temos o comparativo dos valores obtidos nos diferentes casos, podemos observar uma variação de cerca de 10% comparando os casos de Curauá 30G com Curauá 40G. Entre os casos assimétricos um desempenho superior para o caso GGCGG em 46% e entre os casos assimétricos não ocorreu variação significativa. Quando comparado os diferentes grupos, curauá puro, simétricos e assimétricos, temos uma variação de 67% entre o Curauá 40G e o caso GCG e também um resultado superior para o caso simétrico GGCGG sendo 47% superior ao caso assimétrico GGC. Destacando o maior número de camadas de fibra de vidro e simetria mostrando como fator importante para o ensaio de tração.

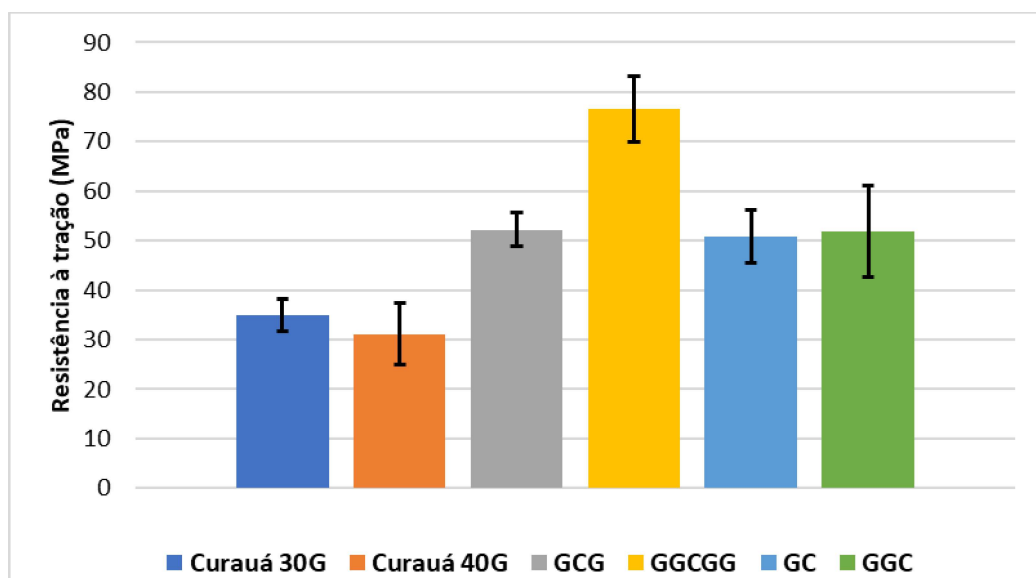


Figura 4491-Gráfico de tensão para diferentes casos em ensaio de tração.

Na Figura 45 podemos notar que não ocorre variação significativa da rigidez obtida nos casos Curauá 30G e Curauá 40G. Entre os casos simétricos também não observamos variação significativa principalmente levando em consideração o desvio padrão elevado do caso GCG. Para os casos assimétricos ocorre 20% de variação sendo o caso GGC com desempenho melhor.

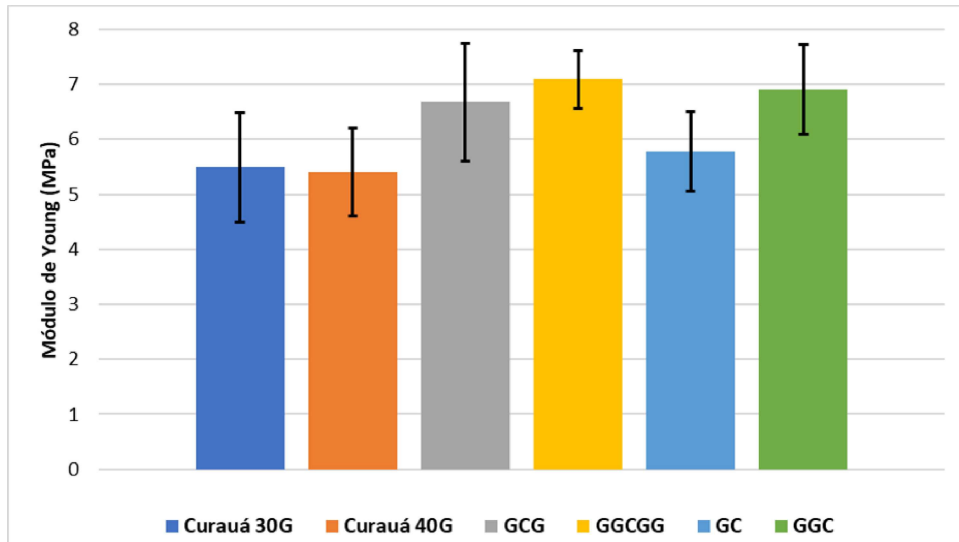


Figura 4592-Gráfico de rigidez para diferentes casos em ensaio de tração.

Na Figura 46 podemos observar a variação da deformação encontrada nos diferentes casos. Entre os casos de curauá puro ocorre uma redução de cerca de 33% do caso Curauá 30G para Curauá 40G. Para os casos simétricos temos um resultado superior em 60% no caso GGCGG com relação ao GCG. Entre os casos assimétricos temos uma variação de 12% com o caso GC apresentando resultado superior. Comparando os grupos temos uma variação de 20% levando em consideração o caso de Curauá 30G e o caso híbrido GCG. E não ocorre variação significativa entre os casos híbridos.

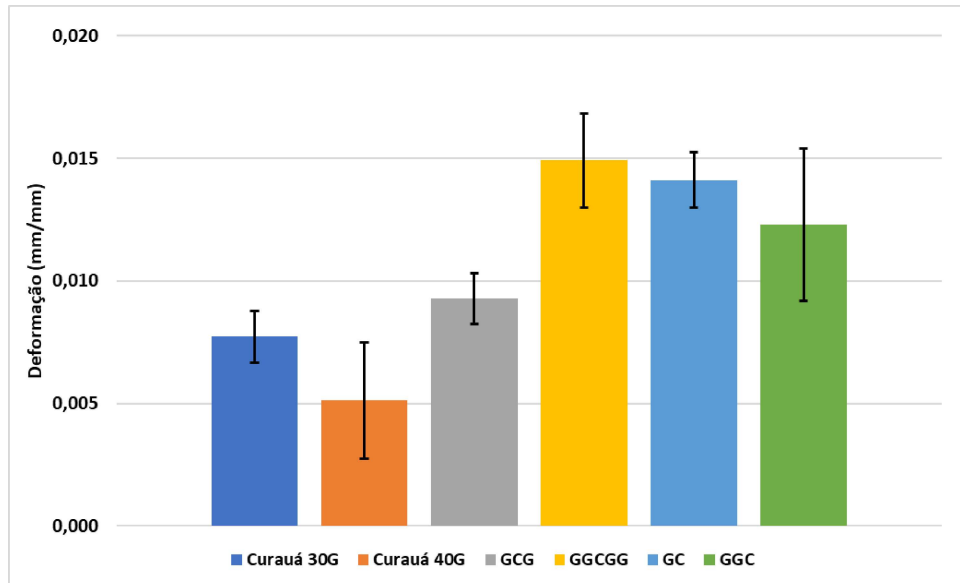


Figura 4693-Gráfico comparativo de deformação para os casos em ensaio de tração.

5.2.1. Efeito do número de camadas

Os efeitos do número de camadas podem ser observados nos resultados com um desempenho superior. Do caso Curauá puro 40G para o caso GCG, podemos notar uma melhora de 40% com relação a tensão de ruptura, e entre os casos simétricos GCG e GGCGG um desempenho 31% superior. Entre os casos assimétricos não ocorreu variação significativa.

Esses resultados eram esperados devido ao melhor desempenho da fibra de vidro com relação ao curauá quando submetido a forças de tração e também pelo tecido de vidro empregado ser de composto por fibras contínuas e o curauá ser com fibras descontinuas. Logo o caso com melhor desempenho foi o com maior número de camadas de vidro GGCGG, com valor de tensão médio de 76,6 MPa.

5.2.2. Efeito da simetria

O efeito da simetria mostra que, quando comparado os casos com 1 camada, tanto simétrico e assimétrico (GCG e GC) temos resultados sem variação significativa, com uma variação de 2%. Porém para os casos com 2 camadas de vidro (GGCGG e GGC) a variação é de 32%. Para esta segunda comparação novamente o resultado deve-se ao fato de do caso simétrico apresentar mais o dobro de camadas de vidro. Portanto já era um resultado esperado, devido ao fato já mencionado anteriormente da fibra de vidro ter uma maior resistência à forças de tração e também ser um tecido contínuo.

5.2.3. Modo de falha de tração

Para análise dos modos de falha foram alguns casos apresentaram comportamentos similares, portanto as figuras apresentadas a seguir apenas mostram um comparativo entre os casos com resultados distintos.

Na Figura 47-A podemos observar a fratura para o caso de Curauá 40G de fibra, observamos que ocorre a fratura, porém o corpo de prova não se desprende completamente, possivelmente devido a geometria assimétrica adotada com relação às fibras e a propagação da trinca.

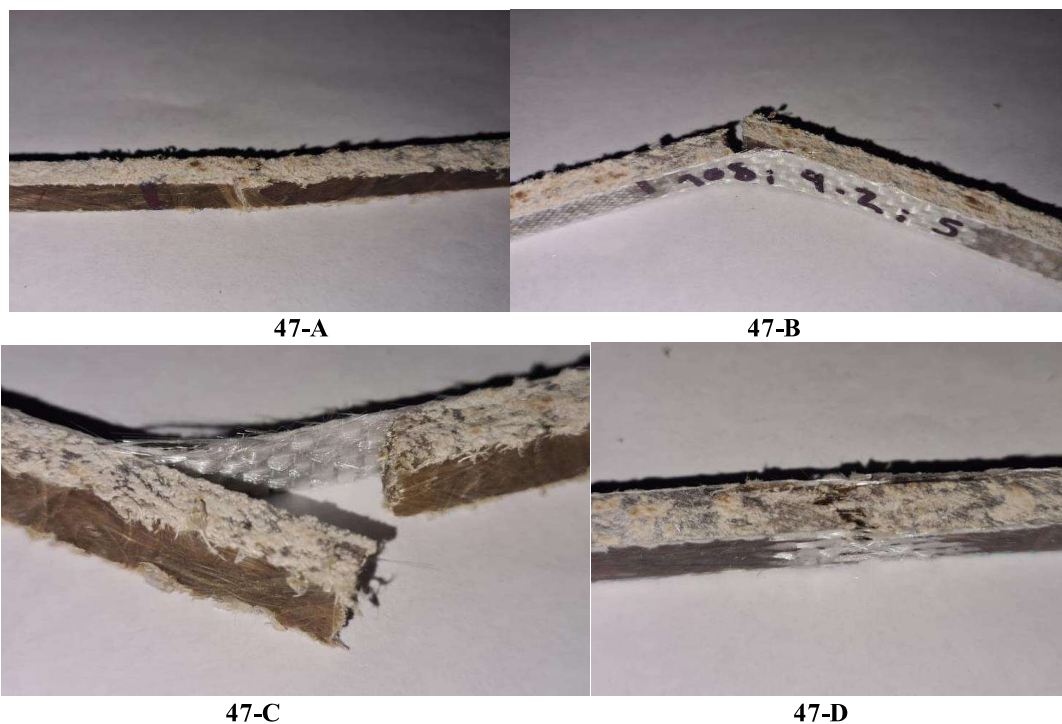


Figura 47-A 94- Detalhe de corpo de prova de curauá puro após ensaio de tração. B 95- Detalhe de corpo de prova rompido e delaminado após ensaio de tração (GGC). C 96- Corpo de prova rompido e delaminado após ensaio de tração (GGC). D 97- Corpo de prova após ensaio de tração (GCG).

Na Figura 47-B e 47-C podemos perceber que o corpo de prova rompe completamente no substrato e ocorre a delaminação da fibra de vidro, a fibra se desloca da superfície do corpo de prova e apresenta uma diferença visual ocasionada pela tensão aplicada durante o ensaio. Resultado obtido em todos os casos assimétricos.

Na Figura 47-D podemos observar o rompimento completo das fibras de curauá e a delaminação na fibra de vidro. Resultado obtido em todos os casos simétricos.

5.3. ENSAIOS DE FLEXÃO

No ensaio de flexão tivemos resultados interessantes levando em consideração o número de camadas e a simetria dos corpos de prova. Na Tabela 11 podemos observar os valores obtidos no ensaio de flexão.

Tabela 10: Resultados obtidos no ensaio de flexão.

casos	Ensaio de flexão			
	Resistência a flexão (MPa)		Rigidez estrutural (MPa)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Curauá 30G	59,71	4,16	3,15	0,63
Curauá 40G	72,61	9,62	4,45	0,47
GCG	3,18	0,51	3,25	0,52
GGCGG	3,24	0,28	3,32	0,28
GC	2,60	0,15	2,65	0,16
GGC	2,92	0,11	2,99	0,12

Podemos ver na Figura 48 o comportamento para cada caso sendo próximos em alguns casos, mas com comportamentos distintos. No caso de Curauá 30G apresentando uma maior deformação para um mesmo nível de tensão, que indica uma maior ductilidade e o caso GGCGG as ondulações observadas são características de falhas por compressão, o que indica que a fibra de vidro na parte superior é um ponto crítico. Neste ensaio foi adotado para os casos assimétricos o uso da fibra de vidro na parte inferior, o que traduz o aspecto de estar em tração durante o ensaio, e a para os casos assimétricos o curauá ficou em compressão devido a aplicação da força na parte superior do corpo de prova.

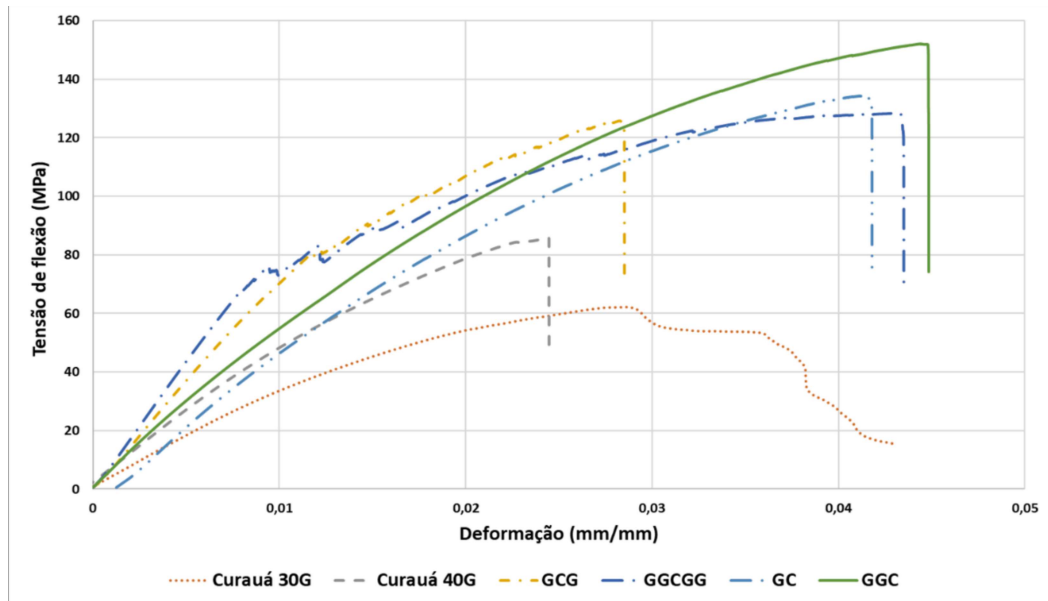


Figura 4898-Gráfico de tensão-deformação para ensaio de flexão.

Na Figura 49 temos o gráfico estatístico para o ensaio de flexão, onde conseguimos observar a tensão máxima em cada caso de forma mais clara. Comparando os caros de curauá puro, temos um desempenho superior em 21% para o caso com 40 gramas de fibra. Entre os casos simétricos não ocorreu variação significativa, já nos casos assimétricos ocorre uma variação de 26% com desempenho superior para o caso GGC. Entre os diferentes grupos, temos uma melhora em 75% dos casos de Curauá 40G para o GCG, e entre os casos híbridos uma variação de 25% entre GGCGG e GGC, sendo o segundo superior.

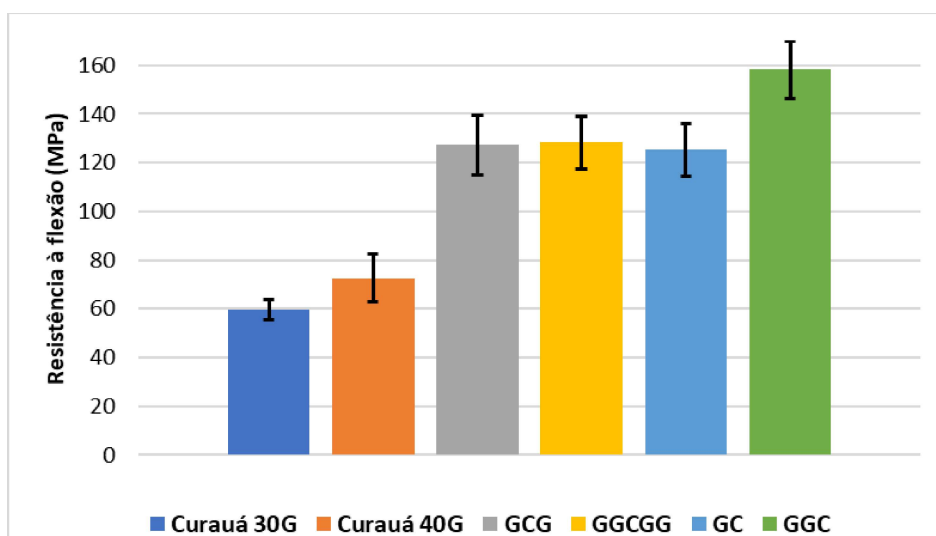


Figura 49 99- Comparação de dados de tensão obtidos em diferentes casos para ensaio de flexão.

Os dados de rigidez obtidos no ensaio de flexão podem ser vistos na Figura 50, temos uma variação de 41% entre os casos de curauá puro, 32% entre os casos GCG e GGCGG e 40%

entre os casos GC e GGC, para os casos híbridos os que se destacam são os de duas camadas. Entre os diferentes grupos temos uma variação de 32% do caso Curauá 40G para o GCG e de 18% entre GGCGG e GGC, sendo o caso simétrico superior.

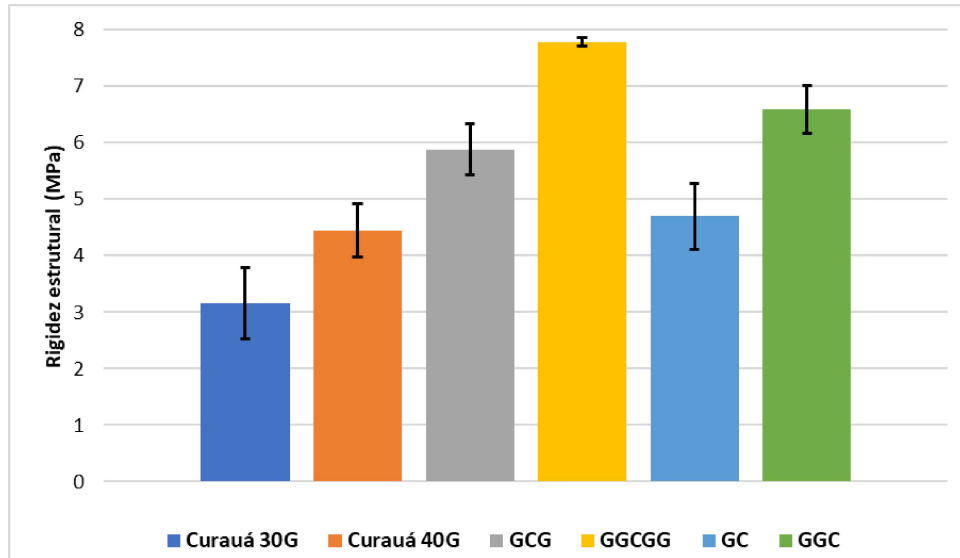


Figura 50 100-Comparação de dados de rigidez obtidos em diferentes casos para ensaio de flexão.

Os dados de deformação obtidos no ensaio de flexão podem ser vistos na Figura 51, podendo ser notado uma deformação maior para o caso que obteve melhor resistência. Entre os casos de curauá puro temos uma variação de 15% sendo o caso com menos massa com maior deformação. Entre os casos híbridos, temos para os simétricos variação de 30% e entre os assimétricos ocorre uma variação de 34%. Comparando os grupos temos entre o caso não temos variação significativa entre o caso de Curauá 30G para o caso GCG e entre os casos GGCGG e GGC uma variação de 18% com o assimétrico apresentando maior deformação.

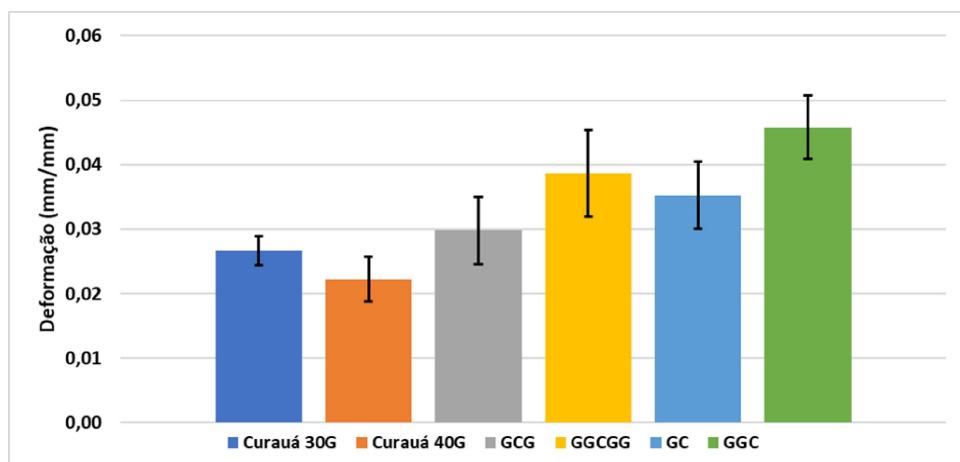


Figura 51 101-Comparação de dados de deformação obtidos em diferentes casos para ensaio de flexão.

5.3.1 Efeito do número de camadas

Os resultados obtidos nos ensaios de flexão mostram que o efeito do número de camadas tem impacto no resultado, temos um resultado para o caso GCG 43% superior ao caso de curauá puro 40g. Porém para a comparação nos casos simétricos (GCG e GGCGG) não ocorreu variação significativa. Para os casos assimétricos é novamente visto um resultado superior em 20% com o acréscimo de camada uma camada de fibra de vidro. Para este ensaio o melhor resultado foi o caso GGC com tensão máxima de 158,2 MPa.

Esses resultados mostram que o maior número de camadas não é o fator principal para a melhora da resistência, levando em consideração os resultados obtidos nos casos simétricos. Como mostrado anteriormente o principal fator para este caso pode ser relacionado a simetria.

5.3.2. Efeito da simetria

Com relação a simetria das peças podemos observar com os resultados obtidos que entre os casos com 1 camada de fibra de vidro (GCG e GC) não houve variação significativa, porém, entre os casos com duas camadas (GGCGG e GGC) houve um desempenho 19% superior para o caso assimétrico.

Esses resultados mostram que a aplicação da fibra de vidro no lado que sofre maior concentração de forças de tração e aplicação do curauá no lado que está com maior concentração de forças de compressão apresenta um desempenho superior.

5.3.3. Modo de falha de flexão

Para o ensaio de flexão foi observado que não ocorreu um comportamento padrão em relação as falhas dos casos híbridos, com relação a cada caso específico. Nos corpos de provas ocorreram falhas em que a fibra de vidro se rompia completamente e falhas em que a fibra de vidro apresentava delaminação. Em todos os casos híbridos ocorreram os dois tipos de falhas.

Na Figura 52-A podemos ver um dos corpos de prova do caso assimétrico com 1 camada, a fibra de vidro na parte inferior, em tração. Neste corpo de prova ocorre o rompimento das fibras de vidro.



Figura 52-A 102-Corpo de prova após ensaio de flexão (GC). B 103-Detalhe de corpo de prova após ensaio de flexão (GGC).C 104-Corpos de prova deformados após ensaio de flexão (GGCGG).

Da mesma forma ocorre na Figura 52-B, ocorrendo o mesmo comportamento de fratura, neste caso sendo ainda mais notável o rompimento da fibra de vidro.

Na Figura 52-C temos o comparativo de corpos de prova do mesmo caso (GGCGG) com comportamentos distintos, o primeiro ocorre apenas a delaminação e o segundo o rompimento das fibras.

5.4. ENSAIOS DE IMPACTO CHARPY

No ensaio de impacto conseguimos observar diferentes comportamentos para os casos empregados neste estudo. Na Tabela 12 temos os resultados obtidos nos ensaios dos diferentes casos.

Tabela 11: Resultados obtidos no ensaio de impacto.

Energia absorvida no impacto (J/m)		
casos	Média	Desvio padrão
Curauá 30G	98,29	8,71
Curauá 40G	114,14	20,24
GCG	195,19	6,59
GGCGG	418,92	21,05
GC	148,35	27,18
GGC	230,48	10,86

Como podemos observar na Figura 53, o caso que teve um destaque com relação a energia absorvida foi o caso simétrico com 2 camadas de fibra de vidro em cada lado (GGCGG) tendo um resultado de 418 J/m sendo este valor 81% superior que o caso assimétrico com 2 camadas de fibra de vidro (GGC).

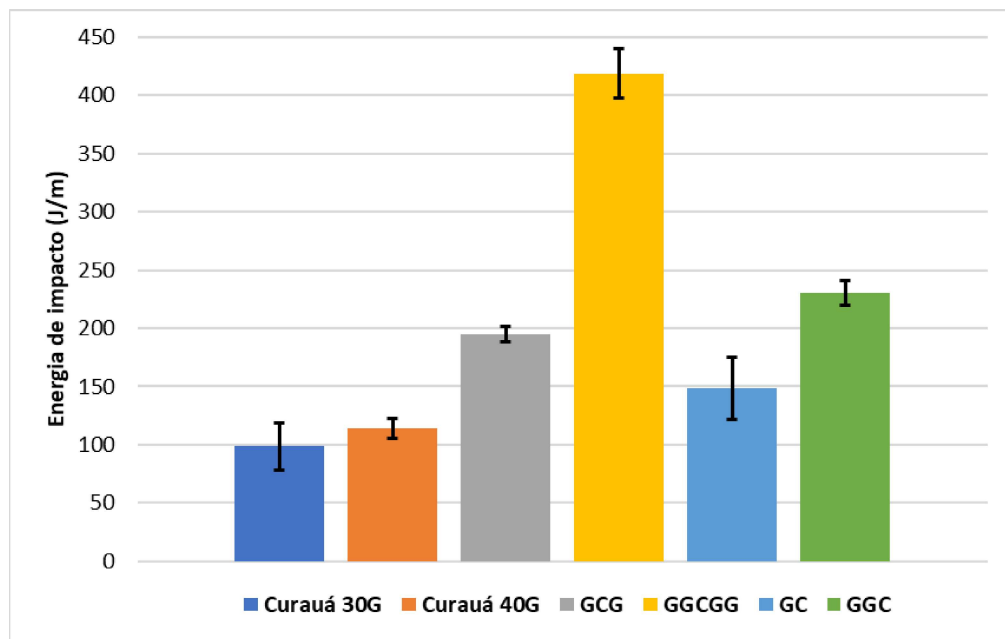


Figura 53105-Comparação entre resultados de diferentes casos para ensaio de impacto.

5.4.1. Efeito do número de camadas

O efeito do número de camadas para o ensaio de impacto é notável, já que os resultados apresentados apresentam variações significativas. Entre o caso de curauá puro 40g e o caso simétrico com 1 camada (GCG) o resultado foi 71% superior, e entre os casos simétricos (GCG e GGCGG) houve uma diferença de 114% para o caso com duas camadas. Entre os casos assimétricos também ocorreu uma variação expressiva, sendo de 55%.

Portanto para o ensaio de impacto é perceptível que o número de camadas é um fator de grande influência nos resultados obtidos, devido as propriedades mecânicas da fibra de vidro.

5.4.2. Efeito da simetria

No ensaio de impacto podemos observar que a simetria dos corpos de prova proporcionou diferentes resultados. Quando comparamos os casos com 1 camada de fibra de

vidro (GCG e GC), podemos observar uma variação de 31% sendo o caso simétrico com resultado superior. Quando comparado os casos com 2 camadas (GGCGG e GGC), é possível observar uma variação de 81% sendo novamente o caso simétrico com resultado superior. Novamente o resultado pode ser relacionado ao fato das propriedades mecânicas superiores da fibra de vidro quando comparado a fibra de curauá.

5.4.3. Modo de falha por impacto

No ensaio de impacto podemos notar que ocorreu três comportamentos de falhas, o rompimento da fibra de vidro na face oposta ao impacto junta a fratura do substrato, e a delaminação da fibra de vidro da superfície oposta também aliada a fratura do substrato. E a delaminação da fibra de vidro na superfície de impacto para os casos assimétricos.

Na Figura 54-A vemos o caso em que ocorre rompimento da fibra de vidro, tendo sido visto em todos os corpos de prova GCG.

Nas Figuras 54-B e 54-C é possível observar a fratura do substrato e a delaminação da fibra de vidro, que ocorreu em todos os casos do ensaio GGCGG.

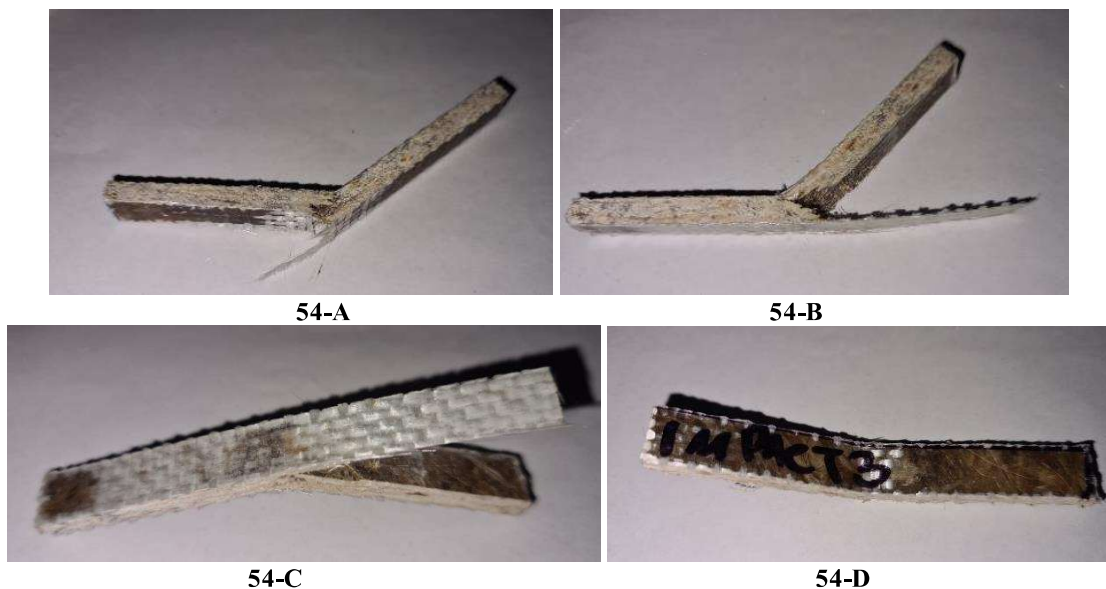


Figura 54-A 106-Corpo de prova simétrico após ensaio de impacto (GCG). **B** 107-Vista lateral de corpo de prova após ensaio de impacto com delaminação (GGCGG). **C** 108-Corpo de prova após ensaio de impacto (GGCGG). **D** 109-Detalhe de corpo de prova após ensaio de impacto (GC).

Na Figura 54-D podemos observar a delaminação da fibra de vidro na face de impacto sendo visto em todos os casos assimétricos (GC e GGC).

5.5. ENSAIOS DE JUNTAS COLADAS

Para o ensaio de junta colada podemos notar uma ligeira diferença com relação a cada caso, e o que apresentou melhor desempenho foi o caso assimétrico com duas camadas (GGC). Mas levando em consideração o desvio padrão deste e o caso simétrico (GGCGG) eles apresentam resultados próximos. Na Tabela 13 podemos observar os valores obtidos nos ensaios de junta realizados.

Tabela 12: Resultados obtidos no ensaio de junta.

	Ensaio de Junta			
	Carga (N)		Deformação (mm)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Curauá 40G	2569,69	203,79	1,52	0,37
GCG	2848,29	91,90	1,34	0,04
GGCGG	3190,75	169,34	1,25	0,10
GC	2882,42	159,32	1,35	0,06
GGC	3464,38	296,50	1,51	0,22

Na Figura 55 temos o gráfico com os resultados e nota-se um resultado superior para o caso GGC, sendo um resultado muito significativo levando em consideração o menor número de camadas de fibra de vidro.

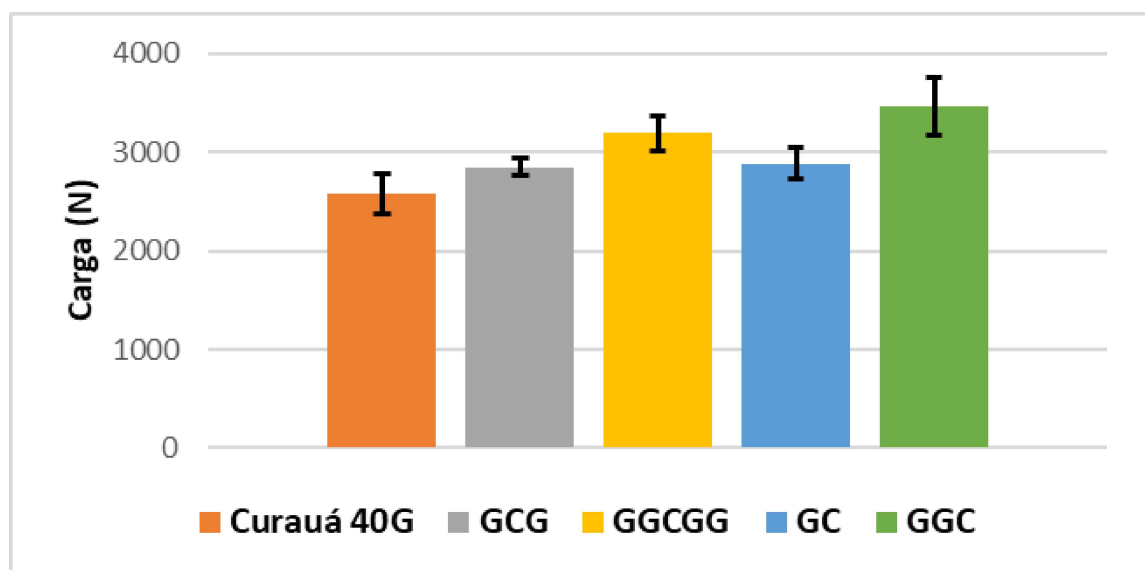


Figura 55110-Gráfico comparativo dos resultados dos ensaios de juntas.

Na Figura 56, podemos observar que o caso que apresentou uma maior deformação com uma aplicação maior de carga foi o caso assimétrico de 2 camadas de vidro, que apresentou uma maior ductilidade quando comparado aos outros casos.

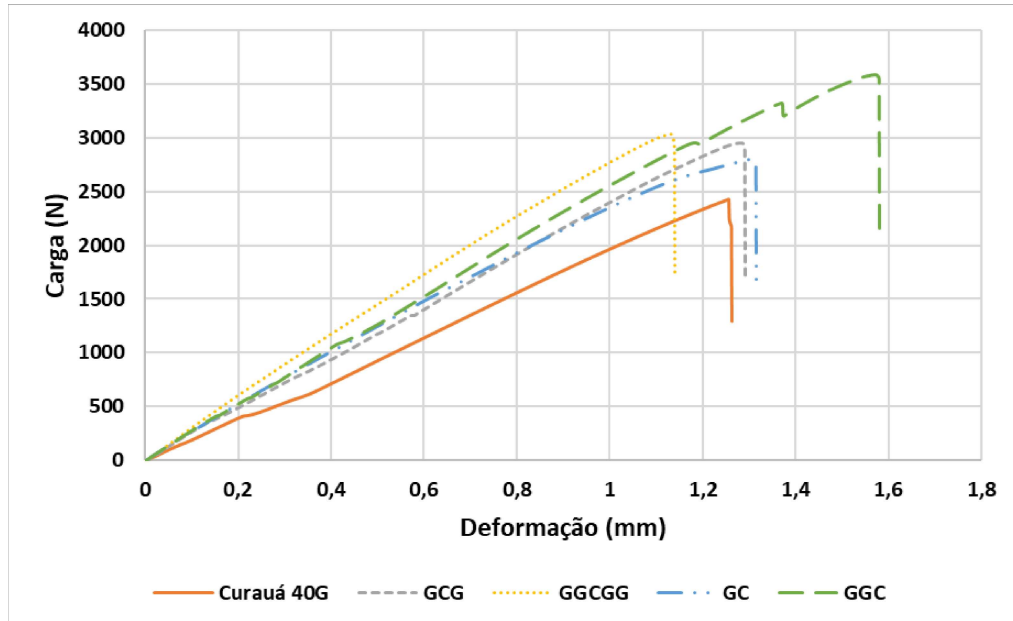


Figura 56111-Gráfico representativos dos resultados dos ensaios de juntas.

5.5.1. Efeito do número de camadas

Com o aumento do número de camadas é possível notar que a carga também é apresentada acréscimo. Quando comparado o caso GCG com o caso de curauá 40g temos uma variação de 10% sendo o caso com fibra de vidro com resultado superior. Entre os casos simétricos, o que apresenta 2 camadas de fibra de vidro, mostra um desempenho 12% superior ao caso com 1 camada. Já para os casos assimétricos a diferença é ainda maior sendo o caso com 2 camadas (GGC) o que apresenta uma carga 20% até a falha.

5.5.2. Efeito da simetria

Com relação a simetria podemos era esperado que os casos simétricos e assimétricos apresentassem resultados muito próximos, levando em consideração que a parte suscetível a falha é justamente onde ocorre a aplicação do composto adesivo. E também que a superfície oposta, onde estão as outras camadas de fibra de vidro para os casos simétricos, não está diretamente relacionada a isso. Portanto um corpo de prova com 2 camadas de fibra de vidro assimétrico (GGC) e um com 2 camadas simétricas (GGCGG) apresentariam resultados próximos.

O resultado que foi encontrado na prática foi de acordo com isso, a média dos ensaios para o caso assimétrico foi 8% melhor, mas se for levado em consideração o desvio padrão temos resultados muito similares. Para o caso com 2 camadas e para os casos com 1 camada (GCG e GC) onde foi notado uma diferença ainda menor, de 1%.

5.5.3. Modo de falha por juntas

Na Figura 57-A podemos notar o tipo de fratura que aconteceu no caso de curauá puro, a falha ocorrida nos corpos de prova aparece no substrato e não na superfície onde o composto adesivo foi aplicado. Esse tipo de falha ocorreu nos casos de curauá 40g.

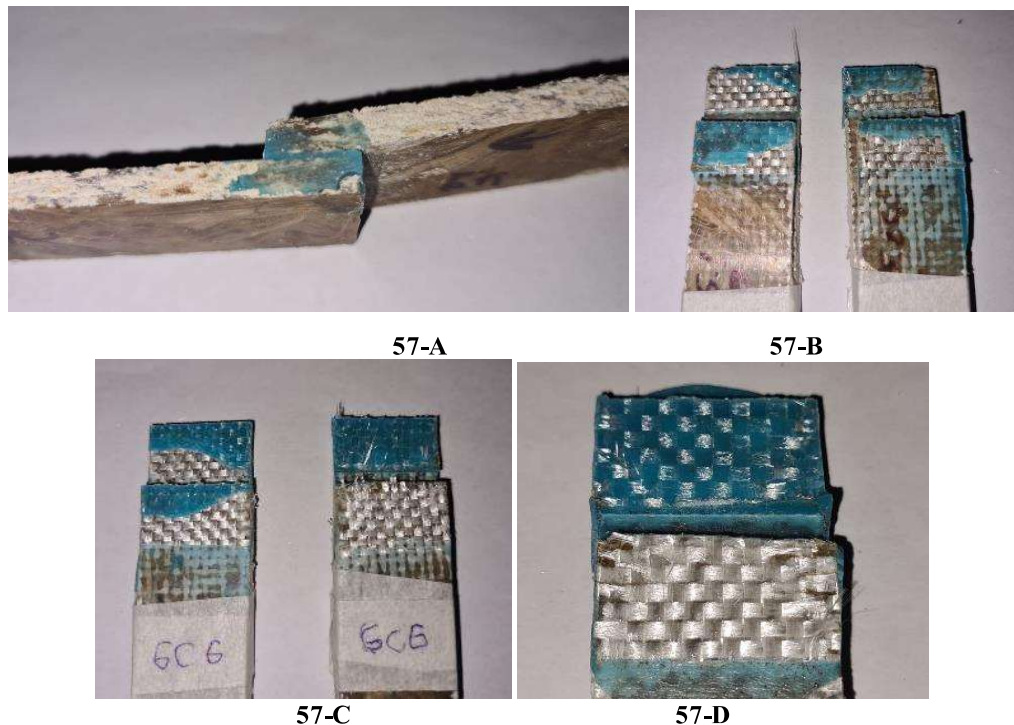


Figura 57-A 112- Corpo de prova de curauá 40g após ensaio de juntas. B 113- Corpos de prova após ensaio de juntas (GC). C 114- Corpos de prova após ensaio de juntas (GCG). D 115- Detalhe de corpo de prova após ensaio de juntas (GCG).

Nas Figuras 57-B e 57-C podemos observar que a fratura ocorre na superfície onde é aplicado o adesivo, e em todos os casos híbridos o tipo de falha é o mesmo, o arrancamento da resina superficial sem que ocorra retirada das fibras.

Na Figura 57-D podemos ver em detalhe a falha por rompimento da fibra, a resina superficial é arrancada e a fibra de vidro, que está na parte mais superficial do corpo de prova fica exposta. Outro detalhe que podemos ver é que na superfície do adesivo o contraste da luz mostra a diferença de tensão com as fibras verticais estavam no mesmo sentido da tração, elas

apresentam uma resistência maior ao arrancamento, já as fibras horizontas apresentam uma menor resistência, e isso causa essa diferença visual.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, foi apresentado um estudo comparativo que definiu diferentes casos de com a aplicação de fibra de curauá e casos híbridos, tendo fibra de curauá e tecido de fibra de vidro bidirecional, para determinar qual dos casos teria melhor desempenho em ensaios mecânicos de tração, flexão, impacto e de junta colada.

A fibra de curauá apresentou desempenho satisfatório para as funções em que pode ser aplicada no projeto. E sua aplicação junto a fibra de vidro possibilitou a comparação para diferentes casos, como apresentado anteriormente. De acordo com tudo o que foi mostrado e as principais questões para o projeto em questão, o caso que se mostrou mais adequado foi o caso assimétrico com 2 camadas (GGC). Este caso foi o escolhido por apresentar características fundamentais para o projeto, como custo-benefício, pois apresenta menos quantidade de fibra de vidro e desempenho igual e em alguns ensaios até superior, tornando o modelo mais barato que é fundamental para a aplicação prática no projeto. O menor peso, novamente devido ao fato de menos camadas de fibra de vidro, isso reduz o peso aproximadamente 12%. E bons resultados nos ensaios realizados.

Conforme todos os pontos abordados neste trabalho podemos observar como conclusões que a placa de fibras de curauá com 40 gramas mostraram desempenho superior a placas de 30 gramas. O resultado para ensaio de flexão 24% superior ao caso assimétrico (GGC) com relação ao caso simétrico (GGCGG) (segundo melhor resultado), mostrando o motivo da escolha como ideal para o projeto e que a configuração adotada com fibra de vidro na parte inferior sofrendo forças de tração e fibra de curauá na parte superior sofrendo forças de compressão é a mais adequada. A maior quantidade de camadas de fibras de vidro não garante um resultado superior, como foi observado no ensaio de flexão. O ensaio de junta colada mostrou que não houve variação significativa entre os casos simétrico e assimétrico com 2 camadas (GGCGG e GGC), resultado muito significativo levando em conta a redução do peso e do custo.

Portanto diante de todos os fatores apresentados e as considerações levantadas, as fibras naturais sendo empregadas junto a fibras sintéticas apresentam resultados que podem ser empregados em diferentes áreas. Agregando boas propriedades mecânicas das fibras sintéticas sendo usadas em menor quantidade e a sustentabilidade das fibras naturais, tornando projetos mais atrativos e com menor impacto ao meio ambiente.

Dessa forma o trabalho realizado mostrou-se eficiente e abrangente, dando a possibilidade para que trabalhos futuros possam ser desenvolvidos e aprofundados cada vez mais, são ideias para o aperfeiçoamento do projeto:

- Realização da análise do protótipo em túnel de vento para análise de desempenho aerodinâmico em comparação com outros materiais.
- Estudo sobre aplicação de fibras naturais em diferentes estruturas de projetos universitários.
- Aplicação de outras matrizes de fibra curta como sisal e ramie e substituição da fibra de vidro pela fibra de carbono.

7. BIBLIOGRAFIA

ABDALA, Márcia, et al. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. Atena Editora, 2018.

AHMAD, Furqan, CHOI, Heung Soap, PARK, Myung Kyun: A Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and Economic Properties. 2015.

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO E TECNOLOGIA: **Árvore do conhecimento coco. Fibra do coco na indústria**. 2006 Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/coco/arvore/CONT000gm3gfs0502wx50k0f7mv209jae397.html>> Acesso em:07/03/2022

AGROPÓS, **Celulose: Descubra o que é sua utilização**. Disponível em: [https://agropos.com.br/celulose/#:~:text=A%20celulose%20%C3%A9%20um%20dos,como%20hamb%C3%BArgueres%20e%20queijo%20ralado\)%2C](https://agropos.com.br/celulose/#:~:text=A%20celulose%20%C3%A9%20um%20dos,como%20hamb%C3%BArgueres%20e%20queijo%20ralado)%2C)> Acesso em: 16/03/2022.

ANDRADE, Bruno Souza Oliveira. **CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO SOBRE O PROCESSO HISTÓRICO, CARACTERÍSTICAS, DURABILIDADE, PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE SUAS ESTRUTURAS**. 2016. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30820/2/VERS%C3%83O%20OFICIAL%20-%20BRUNO%20TCC-REVISADA-%2029.01.16.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

BARBOSA, Anderson. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti** -UENF, Campos dos Goytacazes, 2011.

BIOPDI. **Ensaio de tração**. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao/>> Acesso em 08/03/2022.

BRAINER, Maria; XIMENES, Luciano; **Produção de coco- Soerguimento das áreas tradicionais do nordeste**, Caderno setorial ETENE, 2020.

BUNDER, Jeferson. **O CONCRETO: SUA ORIGEM, SUA HISTÓRIA**. 2016. Trabalho acadêmico (Pos graduação) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2016. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51155957/Concreto.Sua.origem.sua.historia-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1660872859&Signature=Ee7dgSjYHmLE75VtUNolkZiU4Y-0fJwglLbMdXYRSrTE-G9gxdl6Uo1FaM6~3J-tqmQYIIIfEOOqpYoK9P-IL3NRpp-MjR6FZpWyUzN3NCZN3Iw30W1tOHDNlzoVQaToDrTLJuu1H2TlvaXFXVSVKq1eCMQUCz1eCS-CSIVmmhusotFUxfjaJYg0MqGf75WiMe1KHL310cUOzl-DVpZO1g3i1jxNTCXe0ANYpidU9ivNWutbNYXEp9Zo~pJLQYp6fdtP6TU2V-NbmREbKQH~kdv6cGTKqIKS4DWDHjG6AMdCjHhmwwAjLw-4-510KO2NIBXu4pizeL-IvNcyMTucw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 10 ago. 2022.

CALLISTER, **Ciência dos Materiais**, 8ª Edição, 2002.

CARVALHO, Guilherme. **Estudo das propriedades mecânicas de compósitos com matriz de epóxi reforçados com fios de sisal e linho**. Instituto Politécnico de Bragança,2020.

CASTEJON, Danilo. **Método de redução do arrasto e seus impactos sobre a estabilidade veicular**. USP, São Carlos,2011.

CAVICHIOLO, Andrios. **Projeto de uma indústria de fabricação de fibra de carbono**. CEEP, Curitiba, 2015.

- COMPOSITE GROUP: **O que é fibra de vidro**, 2020. Disponível em: <<https://compositegroup.com.br/blog/o-que-e-fibra-de-vidro/>> Acesso em 18/03/2022.
- COMPOSITESLAB, *Do more with composites*. Disponível em: <<http://compositeslab.com/>> Acesso em 17/03/2022
- COTESI. **A fibra de sisal**. Disponível em: <<https://www.cotesi.com.br/fibra-de-sisal.php>> Acesso em: 15/03/2022.
- CULTURA AERONÁUTICA AVIAÇÃO.ORG: **Materiais compostos na aviação**, 2015. Disponível em: <<http://www.aviao.org/article/materiais-compositos/7/>> Acesso em: 17/03/2022
- DA SILVA, Humberto. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. 2010. 72 p. Dissertação para conclusão de curso (Mestre em engenharia) - Universidade federal do rio grande do sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25437/000752517.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 mar. 2022.
- DA ROCHA, DENIS RODRIGUES. **ESTRUTURAS DE AERONAVES: ANÁLISE DO AUMENTO DA UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS**. 2020. Monografia (Bacharel) - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, Palhoça, 2020. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/15940/1/Denis_Rocha_monografia_2020.pdf. Acesso em: 15 ago. 2022.
- DANIEL, Isaac; ISHIA, Ori. *Engineering Mechanics of Composite Materials*. Oxford University, 2006.
- DEO, Chittaranjan, ACHARYA, S. K., *Effect of Moisture Absorption on Mechanical Properties of Chopped Natural Fiber Reinforced Epoxy Composite*, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2010.
- FOX, Robert; MCDONALD, Alan; PRITCHARD, Philip; **Introdução à mecânica dos fluidos**, 8ª Edição, 2014.
- GAMA, Kelly; COSTA, Thaís; JUNIOR, Ladir. **Análise comparativa entre fibras de carbono, vidro, aramida para reforço estrutural em elementos de concreto armado**-UEMG, 2019.
- GONÇALVES, Jorge; **Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibra de coco**, UFS, 2020.
- GUIMARÃES, Natan, et al. **Dimensionamento de um Túnel de Vento Subsônico Aplicado na Indústria Automotiva**. AEDB.
- INFOSOLDA. **Ensaio mecânico: impacto**. 2013. Disponível em <<https://infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-e-mecanicos-livros-senai/210-ensaio-mecanico-impacto>> Acesso em: 09/03/2022.
- IZQUIERDO, Indara; **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**, USP, 2011.

JORNAL BEIRA DO RIO; **Um barco de fibra de juta e miriti**, 2018. Disponível em: <<https://beiradorio.ufpa.br/index.php/nesta-edicao/246-um-barco-de-fibra-de-juta-e-miriti>> Acesso em: 17/03/2022.

JUNIOR, Vilson. **Laminados de fibra de Curauá/ Epóxi obtidos a partir de pré impregnados**. Universidade de Brasília, 2019.

LEBRÃO, Guilherme. **Fibra de carbono**. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia.

UFSJ. **Lignina e Compostos modelos**.2008. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/dcnat/lignina_e_comp_modelos.php> Acesso em: 17/03/2022.

MACIEL, Natália; *Comparative tensile strength analysis between epoxy composites reinforced with curaua fiber and glass fiber, Journal of materials research and technology*, 2018.

MARCHIORI, Gustavo. Título: **Análise estrutural utilizando o método de elementos finitos de um chassi para veículo de eficiência energética construído com material compósito**.-UFSC, Joinville, 2017.

MARINUCCI, Gerson. **Materiais Compósitos Poliméricos**. Artliber Editora, 2019.

MARQUES, Flávio de Oliveira, MEIRELLES, Luiz Antonio. **Tendências da reciclagem de materiais na indústria automobilística**. CETEM, 2006.

NETO, Almir Silva. **Estudo de tensões e modos de falha no desenvolvimento de adesivos nanomodificados e juntas coladas**. 2016. Tese (Pós-graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AC3L4A>. Acesso em: 18 jul. 2022.

NETO, José Alexandre. Título: **Estudo Paramétrico de Juntas Adesivas em Material Compósito** - FEUP, Porto, 2011.

NEWTECH. **Ensaio de flexão**. Disponível em: <<https://www.labnewtech.com.br/InfEnsaiosDetalhes.php?acao=12>> Acesso em 16/03/2022.

OGATA, Bruna; **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias**, USP, 2013.

OLIVEIRA, Sergio; *Development and machining of composites with short carbon fiber reinforced*, 2018.

OLIVEIRA, Giovana; **Caracterização mecânica de compósitos utilizados na indústria náutica**, 2018.

OXYBLACK, *Creating Through Composites*, **Compósitos- O que são**. Disponível em: <<https://www.oxyblack.com/index.php/pt/compositos/o-que-sao>> Acesso em 15/02/2022.

PAIVA, Emmanuela; LIMA, Marianne; PAIXÃO, José; **Pectina: propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação**, UFPE, 2009.

PAULA, Paula; **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**, UENF, 2011.

PEREIRA, Gilmara. **Caracterização de compósitos hips/fibra de casca de coco verde tratada e confecção de manual interativo para aplicação na indústria automobilística**. Centro Universitário de Volta Redonda, 2016.

PEREIRA, Júlio Miguel da Cruz Rodrigues. **Desenvolvimento e fabrico de compósitos de matriz polimérica com fibras naturais**. 2017. Monografia (Mestre) - Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Leiria, 2017. Disponível em: <https://iconline.iplleiria.pt/bitstream/10400.8/3138/1/tese--vers%C3%A3o-de-defesa-13-11-17-JP-CC-revista-a.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

PIRES, Joyce; **Fibras naturais: Características químicas e potenciais aplicações**, UEP, 2009.

PORTAL DA AMAZÔNIA, **Juta**. Disponível em: <<https://portalamazonia.com/amazonia-az/letra-j/juta>> Acesso em: 02/03/2022

REZENDE, Mirabel C. **Polímeros: Ciência e Tecnologia: O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 2000. v. 10. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/Sp5xW8K4WctGhyppz5Fhbmb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 maio 2022.

ROSSI, Carolina; **Tratamento de fibras de coco visando o aumento da adesão e da resistência em compósitos de polipropileno reciclado**, Universidade Federal do ABC, 2017.

QUEIROZ, Henrique; **Análise de juntas coladas com compósitos híbridos de juta/fibra de vidro interlaminar e caracterização mecânica de compósitos híbridos com aditivos particulados**, Cefet/RJ, 2021.

QUEIROZ, Henrique; VELLOSO, Dayane; **Análise de juntas coladas de compósitos de fibras naturais**, Cefet/RJ, 2018.

SANTOS, Alexandre; SYDENSTRICKER, Thais; AMICO, Sandro. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/ Fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia** -UFPR 2006.

SERCEL soluções em fibras: **Resina poliéster**, 2018. Disponível em: <<http://www.sercel.com.br/blog/resina-poliester.html>> Acesso em: 10/02/2022.

SHELL ECO-MARATHON, **Official Rules 2021 Chapter 1**, 2021. Disponível em: <<https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon/global-rules>> Acesso em: 04/01/2022.

SHIGLEY, **Projeto de Engenharia Mecânica**, 2005.

SILVA, Carlota Joaquina; **Absorção de água em materiais compósitos de fibra vegetal**; UFCG, 2014.

SOARES, R. F. Márcio, **Materiais compósitos, aspecto gerais e aplicações**, UCS, 2018.

SOUZA, Luiz; **Simulação de operação do túnel de vento** UNESC, UNESC, 2018.

SUFRAMA: Curauá é exemplo de potencial comercial do bionegócio. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/suframa/pt-br/publicacoes/noticias/curaua-e-exemplo-de-potencial-comercial-do-bionegocio#:~:text=Planta%20origin%C3%A1ria%20da%20Amaz%C3%B4nia%20gera,interesse%20de%20empreendedores%20e%20investidores.>> Acesso em: 07/03/2022

VALE, Aline; **Estudo laboratorial da viabilidade do uso de fibras de coco em misturas asfálticas do tipo SMA**, UFCE, 207.

WILEY, *Mechanical Engineers' Handbook, Material and Engineering Mechanics*, 4ª Edição, 2015.

ZAH, R, et al, *Curauá fibers in the automobile industry*, UNESP, 2006.