



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA - CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ABRAÃO JOSÉ MARTINS DE OLIVEIRA

**Avaliação da utilização de compósito polimérico reforçado com fibra de
aramida para cinta de proteção de CVT em veículo *Off Road* do tipo baja.**

CARAÚBAS - RN

2023

ABRAÃO JOSÉ MARTINS DE OLIVEIRA

Avaliação da utilização de compósito polimérico reforçado com fibra de aramida para cinta de proteção de CVT em veículo *Off Road* do tipo baja.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Caraúbas como requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dra. Ana Claudia de Melo Caldas Batista.

Coorientador: Prof. Dr. Jackson de Brito Simões.

CARAÚBAS - RN

2023

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

J048a José Martins de Oliveira, Abraão .
Avaliação da utilização de compósito polimérico
reforçado com fibra de aramida para cinta de
proteção de CVT em veículo Off Road do tipo baja /
Abraão José Martins de Oliveira. - 2023.
57 f. : il.

Orientadora: Ana Cláudia de Melo Caldas
Batista.
Coorientador: Jackson de Brito Simões.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2023.

1. compósitos. 2. veículo Off Road. 3. aramida.
4. proteção da CVT. I. de Melo Caldas Batista, Ana
Cláudia , orient. II. de Brito Simões, Jackson ,
co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

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

ABRAÃO JOSÉ MARTINS DE OLIVEIRA

Avaliação da utilização de compósito polimérico reforçado com fibra de aramida para cinta de proteção de CVT em veículo *Off Road* do tipo baja.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Caraúbas como requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Defendida em: 17 / 05 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

ANA CLAUDIA DE
MELO CALDAS
BATISTA

Assinado de forma digital por ANA
CLAUDIA DE MELO CALDAS
BATISTA:
Dados: 2023.05.24 08:49:58 -03'00'

Prof. Dra. Ana Claudia de Melo Caldas Batista

Presidente

Assinado de forma digital
por JACKSON DE BRITO
SIMÕES
Dados: 2023.05.25
13:20:53 -03'00'

Prof. Dr. Jackson de Brito Simões.

Membro Examinador

DIEGO DAVID SILVA
DINIZ:

Assinado digitalmente por DIEGO DAVID SILVA DINIZ:
DN: CN=DIEGO DAVID SILVA DINIZ, OU=UFERSA
- Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2023.05.24 20:04:41 -03'00'
Foxit PhantomPDF Versão: 10.1.4

Prof. Dr. Diego David Silva Diniz

WENDELL
ALBANO:058375
26404

Assinado digitalmente por WENDELL
ALBANO:
DN: CN=WENDELL ALBANO, OU=UFERSA - Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2023.05.25 07:47:46 -03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 12.1.0

Prof. Dr. Wendell Albano

Membro Examinador

Aos meus avós maternos Maria da
Conceição e Antoniel Pires (*In Memoriam*)

A Deus por sempre abençoar e iluminar meus
caminhos, aos meus pais, aos meus irmãos,
minha namorada e minha família. Seus
incentivos foram fundamentais para que eu
chegasse até aqui.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus por tudo que ele tem me dado para que eu pudesse alcançar meus objetivos e concluir mais uma etapa em minha vida. A sabedoria e a fé concedida por ele para que eu nunca desistisse de ir atrás dos meus objetivos e me conduzir sempre em seus caminhos, também agradeço pelo dom da vida.

Agradeço aos meus pais Maria José (Nega) e José Luiz (Deda) que nunca mediram esforços para me oferecer tudo o que eu precisasse dentro de seus alcances, por todos os ensinamentos de vida que me proporcionaram. Aos meus irmãos Luís Henrique e Sarah por estarem sempre ao meu lado. A minha namorada Maria Iris que sempre me apoiou e me incentivou para que eu alcançasse esse objetivo. A toda minha família por seu apoio e ensinamentos.

Agradeço à minha orientadora Ana Claudia de Melo Caldas Batista que não mediu esforços para me ajudar, por todos os ensinamentos e contribuições para que esse trabalho tenha sido desenvolvido.

Agradeço ao meu coorientador Jacskon de Brito Simões por toda disponibilidade para que este trabalho tenha sido desenvolvido.

A todos os companheiros da equipe CarauBaja por me proporcionar muitos momentos de aprendizados e orientações, que contribuiu tanto para a minha vida pessoal quanto acadêmica.

Agradeço ao professor orientador do projeto CarauBaja Diego David Silva Diniz por toda a experiência e orientações repassadas, que me possibilitou adquirir muitos conhecimentos.

Agradeço a todos os discentes da disciplina de compósitos pela ajuda na fase inicial desse projeto.

Agradeço aos meus amigos e colegas que de forma direta ou indireta me apoiaram para que este trabalho tenha sido desenvolvido.

Agradeço a Samir Adson, técnico dos laboratórios da engenharia mecânica da UFERSA – Caraúbas, por toda a disponibilidade e ajuda durante os trabalhos realizados em laboratório.

Agradeço a todos os meus professores que contribuíram bastante para que eu pudesse adquirir todos os conhecimentos possíveis.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou
o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

No que se refere a uma gama de materiais empregados na engenharia, é notório uma ascensão em busca de novos tipos de materiais e tecnologias, em que a procura deste desenvolvimento está atrelado a diversos fatores como propriedades de elevado desempenho estrutural, redução de custos, leveza e entre outros. Nesse contexto, os materiais compósitos estão sendo bastante utilizados em diversas áreas, sobretudo na automobilística e aeroespacial. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade da substituição do aço SAE 1010 pelo material compósito para cinta de proteção de CVT. Para que seja possível a substituição do aço SAE 1010 pelo compósito, é necessário que o material tenha uma resistência ao impacto equivalente ao do aço, como assim é determinado pelo regulamento Baja SAE Brasil. Esse trabalho irá contribuir para a equipe CarauBaja SAE, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Campus Caraúbas, com a finalidade de aprimorar a resistência e reduzir massa da peça. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados material compósito e foram confeccionadas duas placas laminadas pelos processos de fabricação *Hand Lay-Up* e *Vacuum Bagging*, em que as placas foram produzidas com 12 camadas de tecido bidirecional de aramida como reforço e resina epóxi como matriz. Para a determinação da resistência ao impacto dos materiais foi utilizado o ensaio de impacto do tipo Charpy, em que se consistiu na confecção de 7 corpos de provas para cada tipo de laminado (*Hand Lay-Up* e *Vacuum Bagging*), seguindo algumas orientações da norma ASTM D6110 (2010). Foi realizado o ensaio de densidade volumétrica usando a norma ASTM D792 (2008). Também foi utilizado o método estatístico “teste de Tukey”, para saber quais médias de energia absorvida pelos materiais em tratamento diferem ou são iguais. O estudo demonstrou que o laminado pelo processo de fabricação *Hand Lay-Up* e *Vacuum Bagging* tiveram uma absorção de energia na ruptura equivalente ao aço SAE 1010. Porém, o *Hand Lay-Up* foi superior o laminado *Vacuum Bagging*. Desse modo, sendo viável a utilização do material compósito do laminado *Hand Lay-Up* para a confecção da cinta de proteção da CVT do veículo *Off-Road* do tipo baja. Após a realização do ensaio e a validação compósito, tem-se uma estimativa de uma possível redução de massa de 156,03% em relação ao aço SAE 1010. Logo, a utilização desse tipo de material proporciona uma diminuição significativa de massa.

Palavras-Chave: compósitos; veículo *off road*; aramida; proteção da CVT.

ABSTRACT

With regard to a range of materials used in engineering, there is a clear rise in search of new types of materials and technologies, in which the demand for these developments is linked to several factors such as properties of high structural performance, cost reduction, lightness and among others. In this context, composite materials are being widely used in several areas, especially in the automotive and aerospace sectors. Thus, the objective of this work was to verify the feasibility of replacing SAE 1010 steel with composite material for CVT protection strap. In order to replace the SAE 1010 steel with the composite, it is necessary that the material has an impact resistance equivalent to that of steel, as determined by the Baja SAE Brasil regulation. This work will contribute to the CarauBaja SAE team, from the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Campus Caraúbas, in order to improve the resistance and reduce the mass of the piece. For the development of the work, composite material was used and two laminated plates were made by the Hand Lay-Up and Vacuum Bagging manufacturing processes, in which the plates were produced with 12 layers of bidirectional aramid fabric as reinforcement and epoxy resin as matrix. For the determination impact resistance ability of the materials the Charpy type impact test was used, which consisted of making 7 specimens for each type of laminate (Hand Lay-Up and Vacuum Bagging), following some guidelines of the standard ASTM D6110 (2010). The volumetric density test was performed using the ASTM D792 (2008) standard. The statistical method “Tukey's test” was also used to find out which averages of energy absorbed by the materials being treated differ or are the same. The study demonstrated that the laminate by the Hand Lay-Up and Vacuum Bagging manufacturing process had an energy absorption at break equivalent to the SAE 1010 steel. However, the Hand Lay-Up laminate was superior to the Vacuum Bagging laminate. Thus, it is feasible to use the composite material of the Hand Lay-Up laminate to manufacture the protection strap for the CVT of the off-road vehicle of the baja type. After carrying out the test and the composite validation, there is an estimate of a possible mass reduction of 156.03% in relation to SAE 1010 steel. Therefore, the use of this type of material provides a significant mass reduction.

Keywords: composite; off road vehicle; aramid; CVT protection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proteção das partes rotativas.....	20
Figura 2: Representação de possíveis orientações para reforços fibrosos: (a) contínuas e alinhadas; (b) descontínuas e alinhadas; (c) descontínuas e aleatoria.	23
Figura 3: Comparação da quantidade de energia absorvida em cada fibra.	25
Figura 4: Formas de comercialização da Fibra de aramida, exemplo: (a) Tipo roving. (b) Tecido sarja 2x2. (c) Manta	26
Figura 5: Máquina de ensaio de impacto Charpy.....	27
Figura 6: Processo de laminação <i>Hand Lay-Up</i>	28
Figura 7: Fabricação de Laminado <i>Vacuum Bagging</i>	28
Figura 8: Fluxograma dos procedimentos experimentais.	29
Figura 9: Tecido de fibra de aramida.	31
Figura 10: Aplicação da resina no plástico transparente.....	32
Figura 11: Adição das camadas de tecido de aramida.	33
Figura 12: Processo de laminação <i>Vacuum Bagging</i>	34
Figura 13: Placa laminada.	35
Figura 14: Processo de lixamento dos corpos de prova.	36
Figura 15: Dimensões do corpo de prova.	36
Figura 16: Corpo de prova com o chanfro.	37
Figura 17: Corpos de prova laminados <i>Hand Lay-Up</i>	38
Figura 18: Corpos de prova laminados <i>Vacuum Bagging</i>	38
Figura 19: Corpos de prova para a realização do ensaio de densidade.	39
Figura 20: a) Pesagem do corpo de prova seco; b) Pesagem do afundador e corpo de prova imerso na água.	40
Figura 21: Máquina de ensaio com pêndulo.	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Energia absorvida pelos materiais compósitos e aço SAE 1010.	47
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais propriedades da fibra de aramida.	25
Tabela 2: Especificações da resina e endurecedor.	30
Tabela 3: Especificações do tecido de fibra de aramida bidirecional.	31
Tabela 4: Espessuras do Laminado Hand Lay-Up.	43
Tabela 5: Espessuras do laminado Vacuum Bagging.	44
Tabela 6: Densidade volumétrica dos laminados Hand Lay-Up e Vacuum Bagging.	45
Tabela 7: Valores da quantidade de energia absorvida no laminado Hand Lay-Up.	46
Tabela 8: Valores da quantidade de energia absorvida no laminado Vacuum Bagging.	46
Tabela 9: Volume necessário para cada reforço.	49
Tabela 10: Massa necessária de cada material para reforço.	50
Tabela 11: Custo para produção de cinta com o aço SAE 1010.	50
Tabela 12: Custo para produção da cinta com o tecido de aramida.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM - American Society for Testing and Materials.

SAE - Sociedade dos Engenheiros Automotivos.

CVT - Continuous Variable Transmission.

CP's - Corpo de Provas.

RATBSB - Regulamento Administrativo e Técnico Baja Sae Brasil.

12A - Laminado com 12 camadas de aramida.

CP - Corpo de prova.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3 REVISÃO TEÓRICA	19
3.1 Baja SAE Brasil	19
3.1.1 Proteção da CVT	19
3.2 Materiais Compósitos.....	21
3.3 Matrizes	21
3.4 Matrizes Poliméricas	22
3.5 Reforço.....	23
3.6 Fibras	24
3.6.1 Fibra de Aramida	24
3.7 Ensaio de Impacto	26
3.8 Processos de fabricação <i>Hand Lay-Up</i> e <i>Vacuum Bagging</i>	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Matriz	30
4.2 Reforço.....	30
4.3 Fabricação dos laminados.....	32

4.4	Confecção dos corpos de prova	35
4.5	Ensaio de densidade	39
4.6	Ensaio de Impacto Charpy	40
4.7	Teste de Tukey	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1	Espessuras dos laminados fabricados	43
5.2	Densidade volumétrica	44
5.3	Ensaio de Impacto	45
5.4	Viabilidade da utilização dos laminados compósitos em substituição do aço SAE 1010	47
5.5	Comparativo da redução de massa do material compósito em relação ao aço SAE 1010	49
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a busca pelo desenvolvimento de novos equipamentos tem se tornado cada vez mais importante para o setor de engenharia. Nesta perspectiva, os materiais compósitos estão sendo empregados com o intuito de se obter propriedades de alto desempenho associado a baixo peso.

Para a norma ASTM D3878 (2007), os materiais compósitos são definidos como a união de dois ou mais materiais que são insolúveis entre si, com o intuito de gerar um novo material com propriedades que não são alcançadas com os materiais de forma separada. Segundo Freitas (2016), os materiais compósitos estão sendo cada vez mais utilizados devido a sua baixa densidade e facilidade de uso, que com materiais clássicos não pode alcançar.

De acordo com Schöntag (2009), as propriedades mais importantes encontradas nos materiais compósitos são alta resistência a corrosão, resistência a umidade, resistência ao calor e à fadiga. Segundo Batista (2017), uma das vantagens da utilização de materiais compósitos é que as propriedades desejadas podem ser ajustadas por meio da escolha dos materiais envolvidos. Ainda conforme a autora, essa premissa afeta diretamente as propriedades mecânicas do material compósito a ser desenvolvido. Devido a versatilidade nas propriedades dos materiais compósitos, a indústria automotiva tem buscado sua utilização.

A competição Baja SAE Brasil é um evento que reúne estudantes de engenharia onde cada equipe fabrica um veículo *Off Road* (tipo Baja) para competirem. Logo, utilizar materiais compósitos para fabricação peças do veículo pode trazer um diferencial, como a proteção da CVT (*Continuous Variable Transmission*) do veículo *Off Road*, assim podendo se obter uma melhor resistência e baixo peso comparado ao aço (material usualmente utilizado na cinta de proteção).

A CVT é um componente que requer bastante cuidado, tanto devido ao seu valor comercial que é um dos elementos mais dispendioso no veículo do baja, quanto para garantir o ótimo funcionamento na transmissão da rotação do motor para as rodas. Assim, faz-se necessário a fabricação de uma proteção que envolva a peça por completo, não deixando-a exposta a elementos como poeira, lama, água e entre outros, além de garantir que pessoas não possam ter contato com a CVT enquanto estiver em funcionamento, o que pode ocasionar algum tipo de acidente.

Para a execução do estudo foram utilizadas fibras contínuas, em que elas são empregues quando se faz necessário a obtenção de alta rigidez e resistência do material composto, assim foram feitas duas placas com tecido de fibra de aramida laminadas nos processos *Hand Lay-Up*

e *Vacuum Bagging*. Nos materiais compósitos, a orientação do reforço e do material influencia diretamente na resistência e rigidez do material produzido. À vista disso, este trabalho apresentará os dados dos ensaios dos corpos de prova produzido com tecido de fibra de aramida bidirecional, em que possuem fibras nas orientações de 0°/90°.

A realização do estudo terá contribuição para a equipe CarauBaja SAE da Universidade Rural do Semi-Árido (UFERSA) campus Caraúbas e para toda a comunidade científica e tecnológica, assim sendo feita uma avaliação das propriedades obtidas de um material compósito com fibra de aramida para vias de comparação com o aço SAE 1010.

Deste modo, o estudo tem como objetivo analisar a utilização do compósito com fibra de aramida, para a produção de um componente de proteção para o veículo *Off Road* do modelo baja. Assim, foram produzidos os corpos de prova para serem realizados os testes por meio do ensaio de impacto Charpy. Visto que o uso do aço possui uma elevada densidade e o emprego de materiais compósitos poderá proporcionar uma redução de peso sem implicar na resistência da peça devido aos esforços que ela será submetida.

De acordo com os resultados obtidos no ensaio, foi certificado a equivalência das propriedades do material compósito em relação ao aço SAE 1010, poderá ser produzida a nova proteção com um percentual de massa bastante reduzido, tendo uma boa estética e ótimo acabamento, também possuindo aptidão para resistir a situações severas de uso.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade da substituição da cinta de proteção da CVT de aço SAE 1010 por compósito polimérico reforçado com 12 camadas de tecido bidirecional de aramida e matriz epóxi.

2.2 Objetivos Específicos

Em termos específicos esse trabalho busca alcançar os seguintes aspectos:

- Adquirir na literatura a resistência mecânica a impacto do aço SAE 1010;
- Confeccionar dois laminados de compósitos com tecido de aramida;
- Obter corpos de provas para o ensaio de resistência ao impacto;
- Aferir a resistência ao impacto do compósito; e
- Analisar a viabilidade de se empregar o material compósito na proteção da CVT no veículo do tipo Baja;

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 Baja SAE Brasil

De acordo com a SAE Brasil (2021), o programa Baja SAE tem como o seu principal objetivo proporcionar aos participantes a experiência de colocar em prática conhecimentos que são obtidos durante a formação acadêmica dos estudantes, constituindo um processo integrado de desenvolvimento, assegurando excelência na esfera internacional. O preparo para o mercado de trabalho e um aprendizado no desenvolvimento de um projeto são suas premissas. No Brasil, o projeto é denominado como Programa Baja SAE Brasil (SAE BRASIL, 2021).

Para a SAE Brasil (2021), a competição Baja SAE tem o intuito de que os alunos participantes do Programa Baja SAE representem suas instituições de ensino e participem anualmente e compitam para uma avaliação comparativas dos projetos. As competições no Brasil são ao nível nacional e regional, a competição nacional é intitulada como Baja SAE Brasil e a esfera regional é dividida nas etapas Sul, Sudeste e Nordeste.

A SAE Brasil possui o regulamento que definem todas as regras e obrigações a serem seguidas. O Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil (RATBSB) é composto por três partes: o regulamento administrativo, regulamento técnico e regulamento de competição (SAE BRASIL, 2021).

No regulamento da competição é possível saber todas as regras para a construção do veículo *Off Road*, em especial a proteção da CVT.

3.1.1 Proteção da CVT

Segundo Albuquerque (2003), uma CVT (*Continuous Variable Transmission*) é um equipamento de transmissão de potência, em que a relação de velocidades pode ser alterada de maneira contínua. Conforme o autor, uma CVT transmite potência sem interrupções típicas das transmissões escalonadas, assim evitando alterações inesperadas no torque e na velocidade de saída, e é principalmente útil onde um determinado número fixo de relações de transmissão não é apropriado para desenvolver a função pretendida.

De acordo com Parapinski (2019), o princípio de funcionamento do câmbio CVT é relativamente simples, o mesmo é composto por duas polias com a parede de contato deslizante do eixo ao qual está montado e conectado através da correia em V, à medida que a rotação do

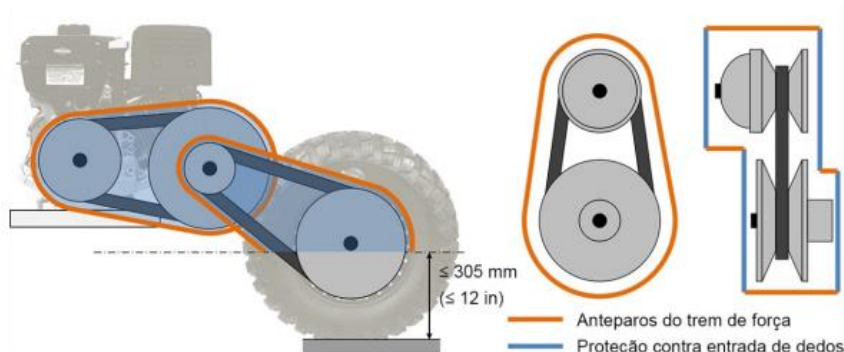
eixo de acionamento aumenta, a força centrífuga causa um movimento diferencial na lateral da polia, a relação muda para o diâmetro no ponto onde a correia faz contato com a polia, mudando a relação de transmissão do eixo motriz para o eixo movido.

A CVT por ser uma das peças mais valiosas do carro e de grande importância como mecanismo de transmissão de potência, um mecanismo de proteção faz-se necessário para resguardar a mesma de elementos que prejudiquem o seu funcionamento como a água, lama e outros.

A busca por materiais alternativos para fabricação da proteção da CVT, irão propiciar ao veículo *Off Road* ótima resistência e baixo peso, os materiais compósitos são uma excelente opção, visto que nos subitens B13.1.5 ao B13.1.7 do RATBSB existe a possibilidade de substituir o uso do aço por material compósito para a proteção de elementos rotativos, como é possível ver na Figura 1.

- “B13.1.5 – As proteções devem ser feitas utilizando apenas: - Aço com ao menos 1,5 mm de espessura e resistência ao impacto igual ou superior ao aço SAE 1010.
- B13.1.6 – Alternativamente, proteções podem ser feitas de um material com absorção de energia na ruptura equivalente. Ensaios aceitos para a prova de equivalência são ensaios de resistência ao impacto, como Charpy e Izod.
- B13.1.7 – Devido a problemas de fabricação, materiais compósitos, se utilizados devem possuir o dobro da espessura com absorção de energia equivalente ao material padrão”

Figura 1: Proteção das partes rotativas.



Fonte: SAE Brasil, (2021).

3.2 Materiais Compósitos

De acordo com Callister e Rethwisch (2013), o compósito é constituído por algum material multifásico que possui uma relevância expressiva das propriedades das duas fases integrantes, assim alcançando melhoras significativas nas propriedades com a sua junção. Segundo Ventura (2009), a classificação dos compósitos é tida conforme o material que forma a matriz, chamada de fase continua, e da outra fase, conhecida como reforço ou fase dispersa. As diferentes propriedades dos compósitos dependem das características físicas e de fatores que são inerentes as fases integrantes.

Para Ventura (2009), a fase matriz pode ser alguns materiais, como o metal, o polímero ou cerâmico, dessa forma proporcionando uma estrutura ao material compósito ocupando todas as lacunas que se encontram no reforço e consequentemente deixando-o no mesmo lugar.

Segundo Peixoto (2019), o reforço é o elemento descontínuo do material compósitos, que geralmente são mais resistentes que a matriz e, no caso das fibras, conferem maior resistência ao material na direção de carregamento.

Os materiais compósitos são preparados com o intuito de se conseguir melhores desempenhos, propriedades mecânicas elevadas comparadas às de seus componentes separadamente. De acordo com Moreira (2009), a junção desses materiais submete-se a aplicação específica para qual este material compósito será utilizado e também a algumas características relevantes como uma alta resistência a corrosão, resistência a fadiga, resistência a temperaturas elevadas, melhor peso e entre outros.

3.3 Matrizes

A matriz nos materiais compósitos pode ser de polímero, cerâmica ou metal. Segundo Callister e Rethwisch (2013), são utilizados como matrizes os metais e polímeros, pois pretende-se obter uma melhor ductilidade. Já nos compósitos que são de matriz cerâmica, o reforço é acrescido para oferecer uma melhor tenacidade a fratura.

A matriz possui o papel de fazer a ligação entre as fibras e age como instrumento para que uma tensão aplicada no meio externo seja transmitida e distribuída para as fibras, outra função da matriz é preservar as fibras individuais contra anomalias superficiais que decorrem da abrasão química ou das reações químicas com o ambiente em que está exposto (CALLISTER E RETHWISCH, 2013). Ainda conforme o autor, as matrizes separam as fibras uma em relação

a outra, que em detrimento de sua maciez e plasticidade irá precaver contra a propagações de trincas que venham a existir.

De acordo com Neto e Pardini (2016), em escala comercial, é grande a utilização de matrizes poliméricas para a produção de materiais compósitos. Segundo Batista (2017), as matrizes poliméricas são compostas por dois grupos, os termofixos e termoplásticos. Nos polímeros termofixos, a resina epóxi corresponde a uma das categorias mais versáteis, demonstrando uma junção bastante relevante de propriedades, como resistência química, resistência a umidade e corrosão, resistência a tração e tenacidade, melhores propriedades térmicas e elétricas (PIRES *et al.*, 2012).

3.4 Matrizes Poliméricas

Para Santos (2017), as matrizes poliméricas abrangem o reforço, resguarda as fibras de possíveis agressões químicas e ambientais, protege a superfície da fibra do desgaste mecânico e passa a carga para o reforço quando o compósito é tensionado mecanicamente. Logo, a melhor escolha de uma matriz polimérica decorre da sua finalidade para determinada aplicação. Conforme Costa (2019), as fibras, partículas e matriz possuem estruturas e propriedades diferentes, os polímeros são compostos pela junção de pequenas moléculas, conhecidas como monômeros, em que se combinam para a criação de macromoléculas.

As matrizes poliméricas podem ser divididas em dois grupos, os termorrígidos e os termoplásticos. Segundo Lourenço (2020), os materiais compósitos de matrizes poliméricas termoplásticas são chamados de plásticos técnicos, que se consiste em macromoléculas lineares individuais sem nenhuma reticulação entre elas. Ainda de acordo com o autor, esses materiais possuem uma maior notoriedade por possuir uma maior resistência ao impacto, melhor tenacidade e menor higroscopicidade em relação aos polímeros termofixos.

Diferente dos polímeros termoplásticos, Oliveira (2013) define que as matrizes termorrígidas (termofixas) são materiais que possuem uma polimerização que leva a ter uma estrutura tridimensional, ou seja, acontecem diferentes ligações químicas covalentes em cadeias distintas, de maneira que não é mais capaz de realizar um escorregamento entre as moléculas. Esses materiais, geralmente, têm boa estabilidade dimensional térmica, em comparação com os termoplásticos, eles geralmente têm melhor rigidez, resistência elétrica e química (PEREIRA, 2017). A resina que é mais empregue nas matrizes de compósitos poliméricos é a resina termofixa, sendo a resina epóxi a de maior destaque (SANTOS, 2017).

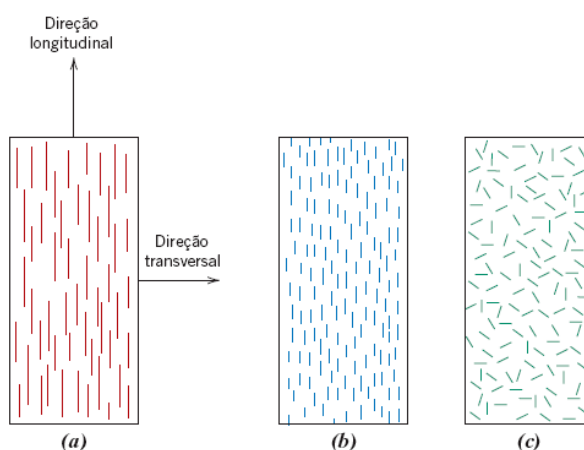
Callister e Rethwisch (2020), declaram que essa resina tem o módulo de elasticidade igual a 2,4 GPa e uma densidade volumétrica de $1,14 \text{ g/cm}^3$. A resina epóxi, contém um alto teor de ligações cruzadas que logo após a adição de um catalisador endurecem, fazendo com que o material possua boas propriedades mecânicas, alta temperatura de distorção térmica e transição vítrea (MARINUCCI, 2019).

3.5 Reforço

Segundo Viana (2022), o reforço é uma fase descontínua, que é encarregado de oferecer melhores propriedades nos materiais compósitos, como a resistência máxima a ruptura, rigidez específica, resistência ao calor e resistência a corrosão, dessa forma a fase de reforço precisa ter uma maior rigidez do que a fase matriz.

De acordo com Neto e Pardini (2016), os reforços são comumente obtidos na forma de partículas, fibras picadas ou contínuas. Na Figura 2, apresenta as fibras contínuas (Figura 2.a) e descontínuas (Figura 2.b) que são em uma única direção e paralelo ao eixo longitudinal. Outra maneira são as fibras descontínuas e aleatórias (Figura 2.c).

Figura 2: Representação de possível orientações para reforços fibrosos: (a) contínuas e alinhadas; (b) descontínuas e alinhadas; (c) descontínuas e aleatoria.



Fonte: Callister e Rethwisch (2013, p.511)

Para Batista (2017), o reforço em materiais compósitos é possível ser em forma de fibra ou de partículas que será juntado a matriz. Nos compósitos poliméricos é utilizado as fibras sintéticas, na qual são intitulados de compósitos com alta performance (BATISTA, 2017).

Moreira (2009) o reforço é um elemento descontínuo do material compósito, assim sendo mais resistente do que a matriz e na condição de seu formato de fibras possibilita que o material tenha resistência na direção do carregamento.

3.6 Fibras

De acordo com Ventura (2009), as fibras integram uma relevante classe de reforço, assim proporcionando um acréscimo de força na matriz, desse modo influenciando e destacando as propriedades requeridas nas duas fases.

As fibras podem ser classificadas em duas classes: naturais e sintéticas. Segundo Mendes (2019), as fibras naturais são oriundas de vegetais, extraídas de diversas partes das plantas como o caule, sementes ou folhas. As fibras sintéticas são encontradas no comércio em forma de tecidos, mantas e rolos.

Para Batista (2017), dentre as demais fibras sintéticas que são empregadas para a fabricação de materiais compósitos, as que mais se destacam são as fibras de aramida, fibra de vidro e fibra de carbono. Neste trabalho será dado destaque a fibra de aramida por dentre as fibras citadas, apresenta o melhor comportamento ao impacto (solicitação de interesse).

3.6.1 Fibra de Aramida

Callister e Rethwisch (2013), afirmam que as fibras de aramida são materiais que possuem alta resistência e um alto módulo que foi introduzido em meados de 1970. Estas fibras são particularmente importantes devido as suas excelentes relações resistência-peso, que é superior à dos metais (CALLISTER E RETHWISCH, 2013).

Segundo Batista (2017), a fibra de aramida é um termo genérico para a classe de fibras sintéticas orgânicas denominadas de fibras de poliamida aromática. A fibra de aramida designa-se de várias formas, tendo como as principais: Kevlar ou Novex, Twaron, Teijinconex e Tcnora (BATISTA, 2017).

Martello e Bleichvel (2020), a fibra de aramida a partir da sua sinterização é caracterizada como um excelente material que possui ótima resistência a altas temperaturas, alta resistência a tração e ao corte com um elevado módulo de elasticidade. A Tabela 1 mostra alguns tipos de aramida e as suas principais propriedades.

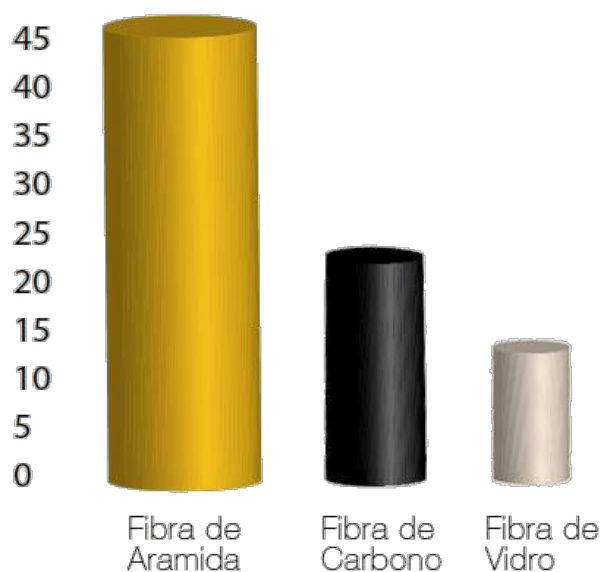
Tabela 1: Principais propriedades da fibra de aramida.

Denominação	Diâmetro dos filamentos (μm)	Densidade (g/cm^3)	Tenacidade (GPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Kevlar 29	12 - 15	1,44	2,9	70
Kevlar 49	12	1,45	2,9	135
Kevlar 68	15	1,44	3,1	99
Kevlar 119	12 - 15	1,44	3,1	55
Kevlar 129	15	1,45	3,4	99
Kevlar 149	15	1,47	2,3	143

Fonte: Adaptado de Valença (2014).

Apresentando características como baixa massa específica, excelente resistência ao impacto, boa tolerância ao dano, as fibras de aramida são bastante utilizadas para a produção de coletes a prova de balas, armaduras, capacetes militares, indústria aeronáutica e automóveis (SAYER *et al.* 2010 *apud* BATISTA, 2017).

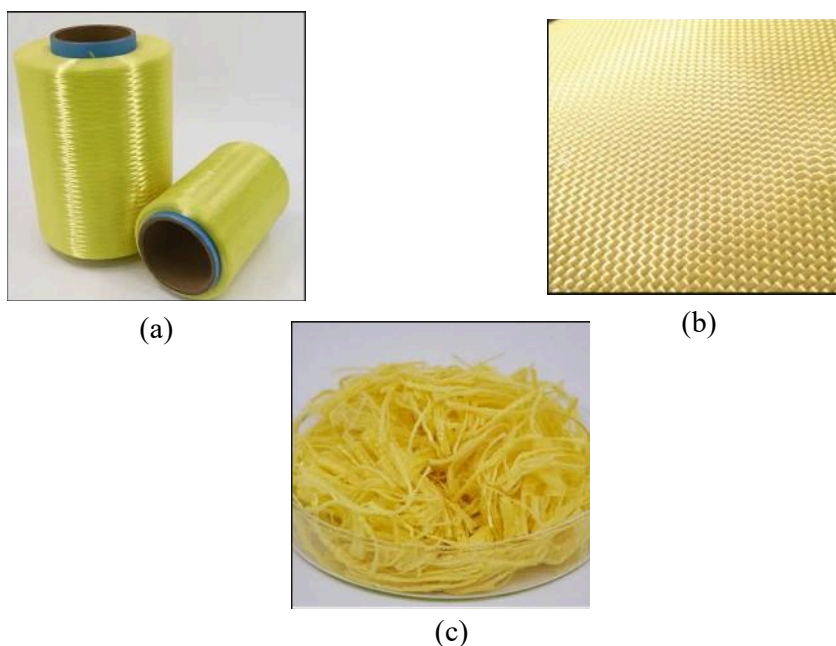
Para Viana (2022), a resistência do material laminado está relacionada a aptidão do material de absorver energia, visto isso, a fibra de aramida possui uma maior resistência comparada as fibras de carbono e vidro. A Figura 3 mostra um comparativo da quantidade de energia absorvida pelas principais fibras sintéticas utilizadas.

Figura 3: Comparação da quantidade de energia absorvida em cada fibra.

Fonte: Adaptado de Fibertex, 2023.

As fibras de aramida conseguem absorver uma maior quantidade de energia ao decorrer da fratura, sendo resultado da sua resistência a fratura e também da sua aptidão em sofrer deformação plástica perante a compressão e especialmente pelo fato que propendem a desfibrilar durante a sua fratura sob tensão (COSTA, 2019). A Figura 4 ilustra as fibras de aramida que são comercializadas em formas de fio *Roving*, tecidos e manta.

Figura 4: Formas de comercialização da Fibra de aramida, exemplo: (a) Tipo *roving*. (b) Tecido sarja 2x2. (c) Manta



Fonte: Direct Industry (2023).

3.7 Ensaio de Impacto

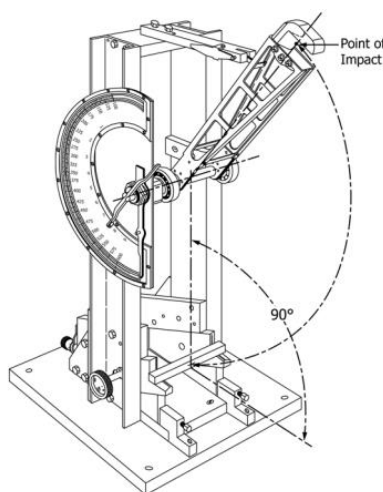
Um dos ensaios para a determinação do comportamento dúctil-frágil dos materiais é realizada por meio de ensaios mecânicos de impacto. Estes ensaios são dinâmicos, em que uma carga é aplicada nos corpos de prova por intermédio do choque entre a amostra e da queda de um pêndulo (SOUZA, 2019 *apud* GARCIA, 2000).

De acordo com a norma ASTM D6110 (2010), o teste de impacto Charpy consiste em colocar um corpo de prova entalhado como uma viga simples horizontal e é rompido por apenas uma oscilação do pêndulo com a linha de impacto a meio caminho entre os suportes e diretamente oposta ao entalhe.

Segundo Lima (2019), o ensaio de impacto Charpy tem como objetivo aferir a quantidade de energia absorvida pelo material no decorrer da fratura e é primordial para garantir

segurança e confiabilidade do mesmo. Ainda conforme o autor, o ensaio é efetuado por um pêndulo de impacto, em que ele é liberado a uma altura pré-estabelecida e causa a ruptura do corpo de prova, que de início está posto em um suporte, na base da máquina. A diferença que é tida entre a altura de elevação do martelo após o impacto e a altura inicial do pêndulo, indica a energia absorvida pelo corpo de prova (LIMA, 2019). A Figura 5 mostra o equipamento que é utilizado para a realização do ensaio de impacto Charpy.

Figura 5: Máquina de ensaio de impacto Charpy.



Fonte: Norma ASTM D6110 (2010)

3.8 Processos de fabricação *Hand Lay-Up* e *Vacuum Bagging*

Segundo Batista (2013), possuem diversos tipos de processos de fabricação e o apropriado para cada caso é selecionado em detrimento de alguns parâmetros, como por exemplo o tipo de resina, forma e tamanho da peça, grau de produção e etc.

O processo de fabricação *Hand Lay-Up* é realizado de forma manual e tem como característica a facilidade para a manufatura dos compósitos, não requerendo altos investimentos de processos para sua confecção (NETO e PARDINI, 2016).

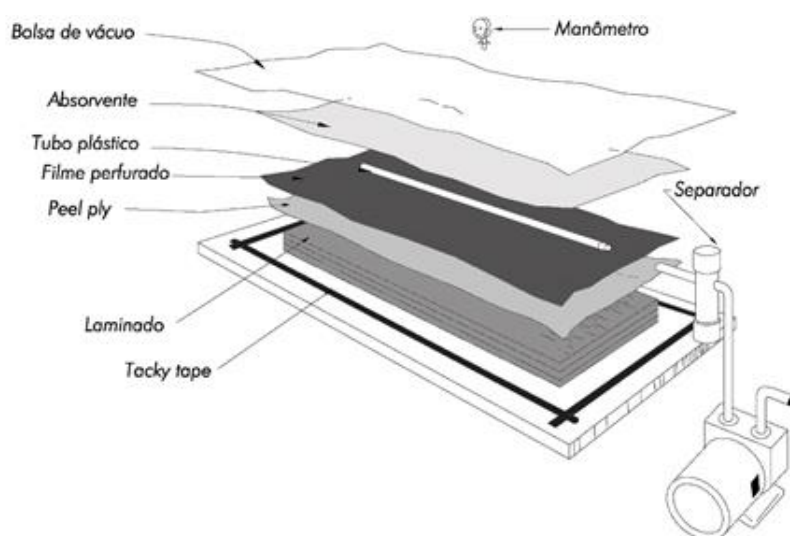
Para Askeland e Wright (2019), o processo de laminação *Hand Lay-Up* resume-se em colocar em um molde as mantas, tecidos ou fios picados que em seguida são saturados com resina polimérica, e depois são laminados para garantir um bom contato e impossibilitar a porosidade, e por último o material é curado. A Figura 6 representa a técnica de moldagem.

Figura 6: Processo de laminação Hand Lay-Up.

Fonte: Sulplast® (2022)

O processo de fabricação a vácuo ou *Vacuum Bagging* é uma extensão do processo de laminação *Hand Lay-Up* que consiste em aplicar uma determinada pressão no laminado aperfeiçoar a consolidação e retirar o excesso de resina e o ar incorporado no material laminado. Dessa forma, nesse processo o laminado é vedado com um plástico contra o molde, em seguida, o ar é removido do interior do saco com a ajuda de uma bomba de vácuo, assim colaborando para a consolidação da estrutura (LOPES, 2009).

De acordo com West System (2010), comparado ao processo de laminação manual, a realização deste processo a peça irá apresentar menos espaços vazios em suas considerações iniciais e possuir uma espessura menor. A Figura 7 demonstra o processo de fabricação do laminado a vácuo.

Figura 7: Fabricação de Laminado Vacuum Bagging.

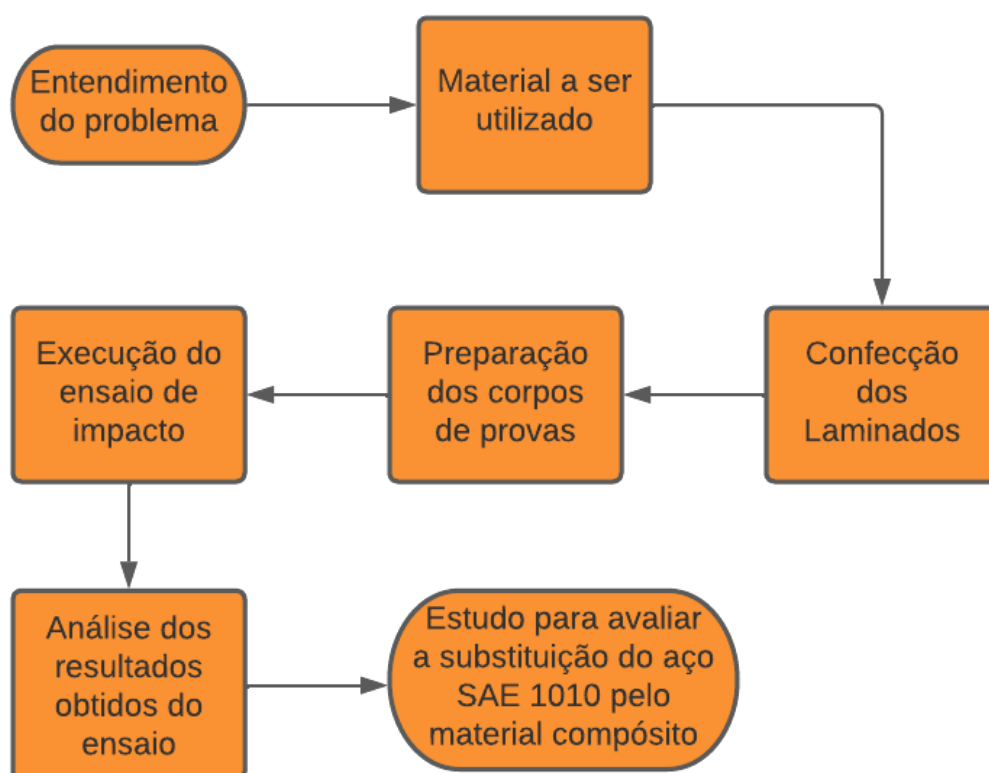
Fonte: NASSEH, J. (2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo realizado para o desenvolvimento deste trabalho deu-se devido o desejo de produzir uma cinta de proteção para a CVT de um veículo *Off Road* (tipo Baja) que tenha baixo peso e que esteja dentro das especificações que é determinada pelo RATBSB. Inicialmente, conhecendo o material e algumas propriedades como a resistência ao impacto, foi possível realizar uma análise para viabilizar a construção da peça. Dessa forma, foram analisados alguns fatores que influenciam na capacidade deste material resistir ao impacto, como os métodos de fabricação, a configuração do laminado compósito e confecção dos corpos de prova.

Dentre todas as citações descritas, neste capítulo será descrito como foi obtido tais dados dos estudos, mostrando os procedimentos experimentais que foram realizados e os materiais utilizados na elaboração deste item. A Figura 8 ilustra de maneira clara e objetiva a elaboração do trabalho no formato de fluxograma.

Figura 8: Fluxograma dos procedimentos experimentais.



Fonte: Autoria própria, (2023).

4.1 Matriz

Para a produção dos laminados, foi usada a resina Epóxi transparente 2001 e o endurecedor 3154 para agilizar o processo de cura da resina a uma temperatura ambiente. A resina e o endurecedor são comercializados pela Rededelease. A proporção utilizada foi de 2:1 resina-endurecedor, estas composições estão descritas nas especificações técnicas da resina para uma temperatura de 30°C. Visto isso, é de suma importância tomar conhecimento das suas características, já que tem a função de assegurar a qualidade do compósito tornando-os mais resistentes e homogêneos. A Tabela 2, mostra as características principais da resina e do endurecedor.

Tabela 2: Especificações da resina e endurecedor.

	Resina Epóxi 2001	Endurecedor 3154
Aparência	Líquido incolor viscoso	Líquido levemente amarelado
Viscosidade, 20°C, cPs	10.000 a 14.000	200 máx
Peso específico, 20°C, g/cm ³	1,16 +/- 0,01	1,005 +/- 0,015

Fonte: Redecenter, 2023.

Neste estudo, foi realizado dois tipos de processos de laminações, sendo o *Hand Lay-Up* e o *Vacuum Bagging*, para produção de duas placas, com as dimensões de 45x45cm composto por 12 camadas do tecido de fibra de aramida. Na fabricação das placas foram utilizadas 200g de resina epóxi e 100g de endurecedor em cada laminado. Tanto a resina quanto o endurecedor foram pesados em uma balança digital (marca Univendas e com precisão de 1g) e logo após a pesagem foram misturados ambos com um bastão agitador de vidro por aproximadamente um minuto antes de dar início ao processo de laminação.

4.2 Reforço

A fase reforço é a responsável pelas melhores propriedades, pois é por meio dela que se pode melhorar as propriedades mecânicas, físicas, térmicas e características de processamento. Na produção das placas foi utilizado o tecido de fibra de aramida bidirecional 1x1 Twaron D2200, sendo visto na Figura 9 e suas demais características na Tabela 3.

Figura 9: Tecido de fibra de aramida.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Tabela 3: Especificações do tecido de fibra de aramida bidirecional.

Características técnicas do tecido de fibra de aramida Twaron	
Desenho	Tela 1x1
Tratamento	Cru
Fios/cm Urdume	5,0 (±0,2)
Fios/cm Trama	5,0 (±0,2)
Gramatura (g/m ²)	180V (±5%)
Espessura (mm)	0,25 mm

Fonte: Adaptado de (Viana, 2022).

4.3 Fabricação dos laminados

Na confecção dos laminados compósitos, foi realizado dois tipos de laminação manual, que foram o *Hand Lay-Up* e o *Vacuum Bagging*, visando uma melhor adequação para a realização do experimento. Todo o desenvolvimento da fabricação dos laminados aconteceu no Laboratório de metalografia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Campus Caraúbas, para que seja garantido que o ambiente esteja dentro das especificações corretas que são a temperatura entre 20°C e 25°C e local arejado para a produção dos laminados.

No processo de laminação de *Hand Lay-Up*, deu-se início com as medições do tecido de aramida para deixar nas dimensões exatas para a fabricação da placa, também foi realizado o corte do mesmo com as 12 camadas que foram necessárias. Logo após, foi feito o preparo da placa de cerâmica posta na bancada do laboratório e por cima dela um plástico transparente com a funcionalidade de desmoldante. Em seguida, foi feito o preparo da resina junto com o endurecedor para ser colocado sobre esse plástico transparente, com a ajuda de um rolo de metal foi possível espalhar toda a resina para que deixasse a mesma de forma mais uniforme. Como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10: Aplicação da resina no plástico transparente.



Fonte: Autoria própria, (2023).

De início foi colocado a primeira camada de tecido de aramida, e em diante o processo de tornou repetitivo, quando colocado uma camada de tecido de aramida era sempre adicionada a resina, assim a matriz sendo a resina epóxi e o reforço o tecido de aramida. O processo de adição das camadas de tecido se deu, por fim, com a aplicação de 12 camadas (12A). A Figura 11 mostra as condições que foram realizados os processos de laminação.

Figura 11: Adição das camadas de tecido de aramida.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Com o intuito de realizar uma boa compactação para não deixar folgas entre as camadas e não comprometer os corpos de prova, foi colocado após as camadas de reforço um plástico transparente. Para a retirada do excesso de resina que se tem após a laminação. Foi utilizado um bastão de vidro para comprimir a placa, e por fim esperou-se um tempo para a cura da resina. Logo após a cura da resina, foi realizado o processo de desmoldagem das placas, retirando as mesmas da placa de cerâmica e os plásticos transparentes.

O processo de laminação a vácuo ou *Vacuum Bagging* foi realizado de forma semelhante ao *Hand Lay-Up*, visto que a laminação a vácuo é uma extensão da laminação *Hand Lay-Up*. A diferença entre os dois processos é que na laminação a vácuo é aplicado uma pressão de em torno de 60kPa no laminado com a ajuda de uma bomba de vácuo do modelo *New Pump*, assim retirando todo o excesso de resina e ar existente na placa.

Para o processo de laminação *Vacuum Bagging*, o processo inicial foi igual ao do *Hand Lay-Up*, porém após a laminação das 12 camadas de fibra de aramida foi aplicada uma camada de cetim (correspondente ao *Peel Ply*) e em seguida uma manta acrílica. Por fim, todo o material foi coberto por um plástico transparente (bolsa de vácuo), sendo selado com massa calafetar e fita 3M para fechar a área do vácuo. A Figura 12 mostra como foi feita a preparação da placa no processo *Vacuum Bagging*.

Figura 12: Processo de laminação Vacuum Bagging.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Diante disso, vale salientar que o processo de laminação *Vacuum Bagging* produzido neste trabalho não ocorreu sob as condições adequadas, devido a utilização de alguns materiais alternativos, como o tecido de cetim pelo *Peel Ply*, o plástico transparente de mesa como uma bolsa de vácuo e a massa de calafetar no lugar da *Tacky Tape*. Mas, de acordo com Lima (2021), esse procedimento gerou bons resultados nas propriedades a tração em um compósito polimérico híbrido carbono/vidro.

As duas placas produzidas com a laminação *Hand Lay-Up* e a *Vacuum Bagging* foram produzidas seguindo os mesmos processos com as 12 camadas de tecido de fibra de aramida. A Figura 13 mostra a placa laminada pelo processo *Hand Lay-Up*.

Figura 13: Placa laminada.



Fonte: Autoria própria, (2023).

4.4 Confeção dos corpos de prova

Primeiramente, foram realizadas todas as demarcações na placa laminada e em seguida foi feito o corte dos corpos de prova com o auxílio de uma esmerilhadeira com um disco de corte para porcelanato. Após os cortes, surgem no material as rebarbas que ficam em volta dos CP's, assim foi possível realizar todo um acabamento nos mesmos de modo manual com o auxílio de lixas.

Para o processo de lixamento dos CP's, foram usadas lixas d'água seguindo algumas granulações como 80, 100, 220, 500, 600 e 1200, assim proporcionando um bom acabamento e garantindo que todas as dimensões estejam de acordo com a norma ASTM D6110 (2010). A Figura 14, mostra o processo de lixamento dos corpos de provas.

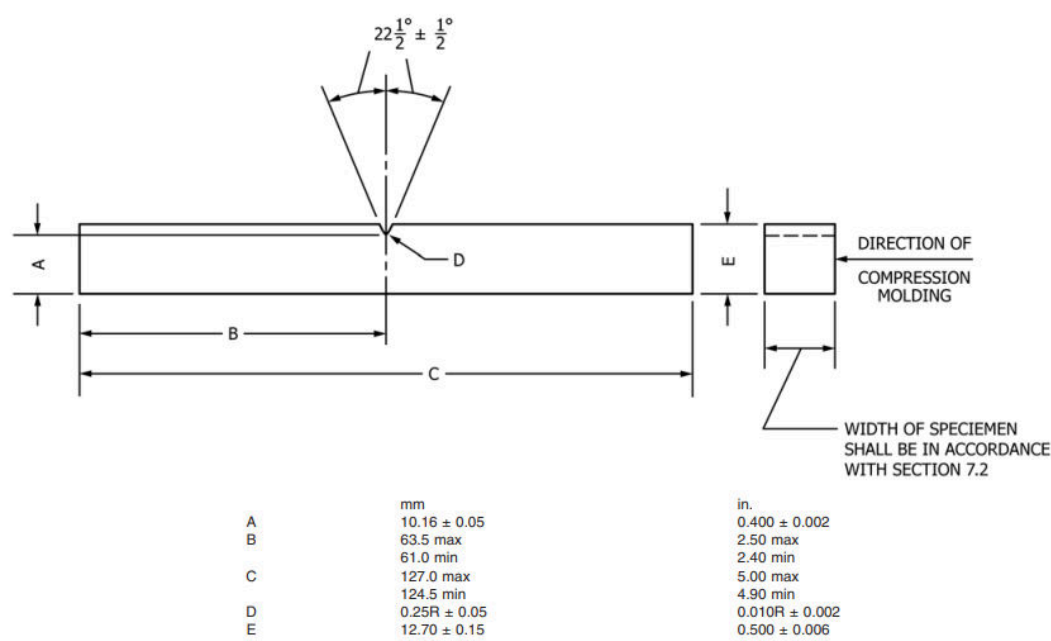
Figura 14: Processo de lixamento dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, (2023).

As dimensões que são especificadas para a produção dos corpos de provas estão descritas na norma ASTM D6110 (2010). Esta norma diz que os CP's necessitam ter uma espessura de 12,7 mm ± 0,15, com o comprimento no intervalo entre 127 mm e 124,5 mm, que também deve possuir um chanfro com a angulação de 44°± 1° e profundidade de 2,54mm ± 0,05 na metade do comprimento do corpo de prova. A Figura 15 demonstra como é as medições descritas anteriormente.

Figura 15: Dimensões do corpo de prova.

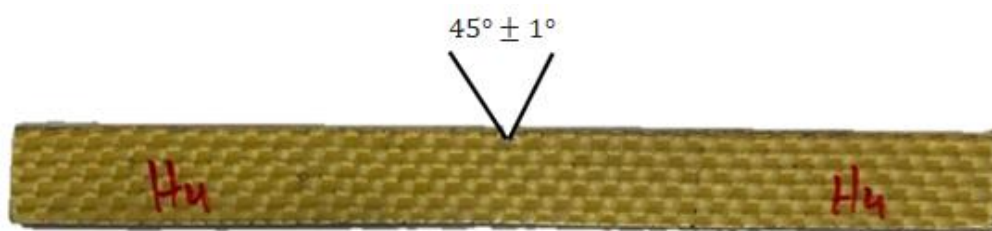


Fonte: Norma (ASTM D6110, 2010).

De acordo com a norma ASTM D6110 (2010), o chanfro deve ser realizado de modo preferencial em uma fresa de dente único, devido a sua fácil manipulação e por oferecer uma segurança maior na hora do corte para não comprometer o corpo de prova.

O corte dos CP's foram feitos com a máquina serra fita manual, em que foram posicionados sobre uma mesa para uma melhor fixação. Para uma garantia de um corte com maior precisão, foi elaborado um gabarito por meio do software Inventor® com todas as dimensões e o ângulo de chanfro como determina a norma, logo após, os gabaritos foram impressos e sobrepostos no corpo de prova. Em seguida, feito o corte nos corpos de prova, que apresentaram algumas rebarbas que comprometeriam a realização do ensaio, assim com o auxílio de uma lixa foi possível retirar todas as rebarbas. A Figura 16 mostra o corpo de prova com o chanfro feito.

Figura 16: Corpo de prova com o chanfro.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Todas as medições realizadas no corpo de prova foram feitas por meio do paquímetro com uma precisão de 0,02 mm. Desta forma, como os CP's são confeccionados manualmente, ocorre algumas imprecisões em suas aferições, consequentemente uma pequena variação entre os mesmos, mas todos dentro da norma preestabelecida, tanto para os corpos de prova na laminação *Hand Lay-Up* quanto para o *Vacuum Bagging*.

Com os corpos de provas totalmente preparados, eles foram enumerados e descritos como o H (*Hand Lay-Up*) e o V (*Vacuum Bagging*), assim evitando a não identificação dos corpos de provas após a realização do ensaio. As Figuras 17 e 18 apresentam os corpos de provas.

Figura 17: Corpos de prova laminados *Hand Lay-Up*.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 18: Corpos de prova laminados *Vacuum Bagging*.

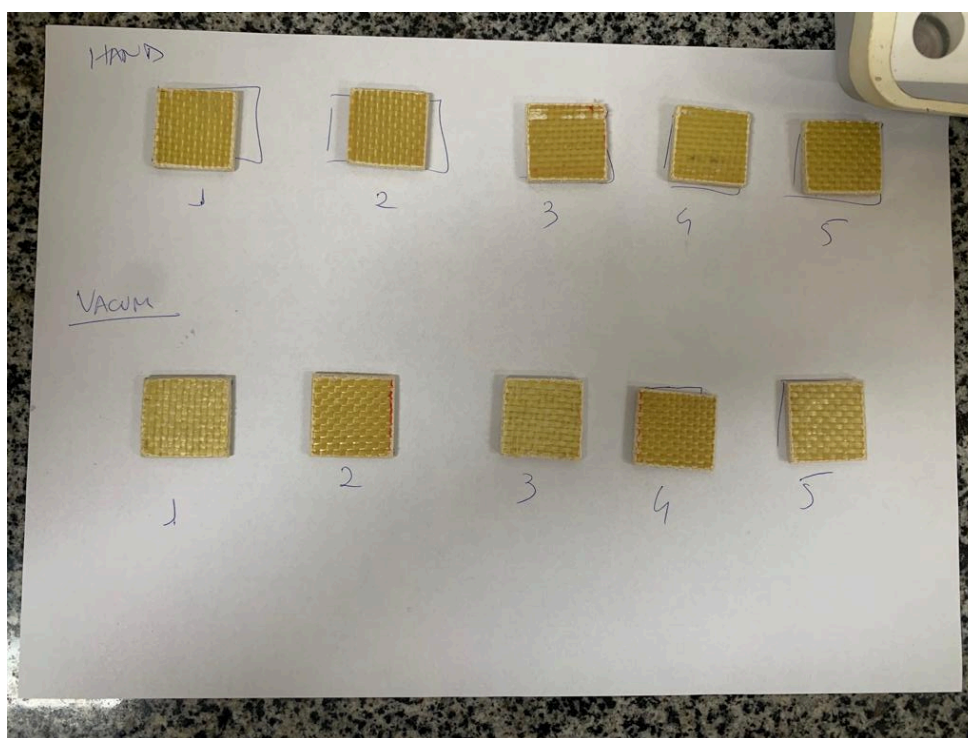


Fonte: Autoria própria, (2023).

4.5 Ensaio de densidade

Para a realização do ensaio de densidade volumétrica foram cortados 5 corpos de provas de cada placa laminada. Seguindo a norma ASTM D792 (2008), utilizou-se o método de teste para plásticos com sólidos em água. Na Figura 19 é possível visualizar os CP's cortados, tanto para a placa laminada pelo processo *Hand Lay-Up* quanto para o *Vacuum Bagging*.

Figura 19: Corpos de prova para a realização do ensaio de densidade.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Os corpos de provas foram sujeitos a um processo na estufa de secagem e esterelização a uma temperatura de 100°C por uma hora, retirando toda a umidade presente. Em seguida, eles foram colocados para resfriar por uma hora no dessecador.

Diante do procedimento realizado, os corpos de provas foram pesados individualmente em uma balança de precisão, dando sequência a isso, adquiriu-se a massa do afundador parcialmente imerso em água e finalmente foram feitas as medições da massa do afundador com os CP's imersos na água, conforme a norma ASTM D792 (2008). A Figura 20, mostra as etapas de imersão e pesagem dos corpos de prova.

Figura 20: a) Pesagem do corpo de prova seco; b) Pesagem do afundador e corpo de prova imerso na água.



a)



b)

Fonte: Autoria própria, (2023).

A fim de se obter o valor da densidade volumétrica, foi utilizada a equação (1), que está na norma ASTM D792 (2008).

$$D = \frac{ad}{a + w - b} \quad (1)$$

Em que:

- D é a densidade volumétrica do laminado (g/cm^3);
- a é o peso do corpo de prova seco (g);
- w é o peso do afundador parcialmente imerso na água (g);
- b é o peso do corpo de prova com o afundador imerso na água (g);
- d é a densidade da água a 23°C ($0,9975 \text{ g}/\text{cm}^3$);

4.6 Ensaio de Impacto Charpy

Os corpos de provas foram produzidos com todas as especificações que determina a norma. Logo após, eles foram encaminhados para realização do ensaio na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A máquina utilizada para o ensaio de impacto possui um pêndulo

de martelo tipo “C”. Assim, o pêndulo é levantado e preso no seu ponto máximo, alcançando a energia de 300J, gerando uma velocidade de impacto entre 3 e 6 m/s.

Na máquina de ensaio, o corpo de prova é posicionado centralizado na base de fixação. Posteriormente, o pêndulo foi solto e se chocou contra o CP, ao fim de todo percurso são realizadas as leituras e cálculos para a resistência ao impacto do material. De acordo com a norma ASTM D6110 (2010), a energia de ruptura é apontada pela altura de elevação do pêndulo depois do impacto. A Figura 21, mostra o máquina de ensaio.

Figura 21: Máquina de ensaio com pêndulo.



Fonte: Viana, (2022)

4.7 Teste de Tukey

Segundo Oliveira (2008), o teste de Tukey tomado como base a amplitude total estudentizada, pode ser usado para fim de confrontação e quaisquer contraste entre duas médias de tratamentos. Ainda de acordo com o autor, o teste possui uso bastante simples e exato, se utilizado quando o número de repetições for igual para todos os tratamentos.

Gomes e Cunha (2020) afirma que ao ser feito a análise de variância (ANOVA) de um experimento com dois tratamentos, é possível notar somente pela média qual é o melhor tratamento a ser utilizado, logo, quando se tem mais de dois tratamentos, executando somente o teste de “F” (teste que indica a presença de diferença entre as médias de tratamento) não se

mostra de maneira precisa qual é o melhor tratamento. Ainda segundo o autor, faz-se preciso adotar o uso de um teste de comparação de médias dos tratamentos, assim podendo concluir qual o melhor tratamento a ser utilizado.

O cálculo do teste de Tukey, segundo Oliveira (2008) é realizado por meio da obtenção da diferença mínima significativa (d.m.s), seguindo a seguinte equação (2):

$$dms = q \sqrt{\frac{QME}{r}} \quad (2)$$

Onde:

- q é o valor obtido na tabela ao nível de insignificância estabelecido;
- QME é o quadrado médio do resíduo;
- r o número de repetições de cada tratamento;

Para dimensões amostrais balanceadas, o teste de Tukey afirma que duas médias são consideravelmente diferentes se o valor absoluto de suas diferenças não ultrapassar a amplitude, ou seja, a diferença entre o menor e maior valor utilizadas para a fim de comparação (GOMES e CUNHA, 2020). Em conformidade com o autor, pode ser representado como:

$$|Y_{máx} - Y_{mín}| > dms \quad (3)$$

Desse modo, fazendo uso desse teste é possível analisar e constatar se duas médias em tratamentos se diferem ou são iguais. O teste de Tukey foi aplicado neste trabalho para determinar se as médias das energias absorvidas do aço SAE 1010 e dos laminados compósitos diferem ou são iguais. Desse modo, validando a utilização do material compósito para fabricação da cinta de proteção da CVT.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados todos os resultados encontrados da resistência ao impacto dos materiais pelo ensaio de impacto. Além disso, serão abordados os resultados do ensaio de densidade volumétrica, espessuras dos corpos de prova e viabilidade do uso de materiais compósitos para substituição do aço SAE 1010. Será discutido a influência dos processos de fabricação nos compósitos laminados. Também será abordado a comparação de massa que os materiais estudados possuem.

A fim da discussão dos resultados obtidos nos experimentos terá como base tabelas, gráficos e imagens produzidas durante a pesquisa que serão apresentados ao decorrer desta seção.

5.1 Espessuras dos laminados fabricados

Com a fabricação dos laminados foi realizado a medição dos mesmos. Os laminados validados para a realização do ensaio de impacto tiveram suas respectivas espessuras medidas em 7 pontos de cada placa, utilizando-se um micrômetro digital para a sua aferição. As Tabelas 4 e 5 mostram todos os valores, médias e desvios padrões das espessuras obtidas nos laminados (para a realização do cálculo foi utilizado software Excel® com a função *desvpad.p*).

Tabela 4: Espessuras do Laminado *Hand Lay-Up*.

Espessura do Laminado <i>Hand Lay-Up</i> (mm)	
	3,81
	3,90
	3,81
	3,92
	3,76
	3,73
	3,47
Média	3,77
Desvio Padrão	0,13

Fonte: Autoria própria, (2023).

Tabela 5: Espessuras do laminado *Vacuum Bagging*.

Espessura do Laminado <i>Vacuum Bagging</i> (mm)	
	2,85
	3,00
	3,02
	2,86
	3,17
	2,74
	3,21
Média	2,97
Desvio Padrão	0,16

Fonte: Autoria própria, (2023).

Diante dos dados obtidos e do regulamento RATBSB é possível notar que a média dos valores das espessuras para o laminado *Hand Lay-Up* é maior que o dobro da espessura do aço SAE 1010 (ou seja, maior que 3mm) como assim determina a norma, logo poderá ser utilizado para a produção da cinta da CVT do veículo *Off- Road* do tipo baja. Já a média dos valores obtidos para o laminado *Vacuum Bagging*, mostra-se inferior a espessura do aço SAE 1010, no entanto não poderá ser utilizado para a produção da cinta de proteção. Uma maneira para que esse tipo de laminado entre nas especificações determinas é adicionar mais uma camada de tecido de aramida.

5.2 Densidade volumétrica

Neste tópico será discutido todos os resultados obtidos da densidade volumétrica, tanto para o laminado *Hand Lay-Up* quanto para o laminado *Vacuum Bagging*. Todos os dados da densidade foram adquiridos seguindo a norma ASTM D792 (2008). A Tabela 6 exhibe os valores obtidos após o experimento.

Tabela 6: Densidade volumétrica dos laminados *Hand Lay-Up* e *Vacuum Bagging*.

Densidade Volumétrica (g/cm³)		
Laminado	Média	Desvio Padrão
<i>Hand Lay-Up</i>	1,23	0,003
<i>Vacuum Bagging</i>	1,25	0,006

Fonte: Autoria própria, (2023).

Ao realizar uma análise dos dados fornecidos pela Tabela 6, é possível afirmar que entre os compósitos laminados o que possui uma maior densidade volumétrica é *Vacuum Bagging* com o valor de 1,25 g/cm³. Já o laminado *Hand Lay-Up* apresentou o valor de 1,23 g/cm³.

Vale salientar que, os valores para o laminado *Vacuum* se mostrou mais denso do que o laminado *Hand*, isso ocorre devido ao percentual de fibra, pois na laminação a vácuo é reduzido o percentual de resina e aumentado o percentual de fibra, logo é esperado o valor da densidade do laminado a vácuo ser maior do que o processo *Hand Lay-Up*.

Para nível de comparação, Lima (2021) obteve em seu trabalho para ambos os processos com duas camadas de tecido híbrido carbono/vidro e resina (Epóxi 2001) um valor de 1,54 g/cm³ no processo de fabricação *Vacuum Bagging* e no processo de fabricação *Hand Lay-Up* 1,40 g/cm³, mostrando-se que o valor da densidade do vácuo foi cerca de 10% maior do que o do *Hand Lay-Up*. Porém, a título de comparação com as densidades de demais materiais, os valores encontrados na literatura da densidade da fibra de vidro é de 2,54 g/cm³ e a de carbono 1,50 g/cm³.

5.3 Ensaio de Impacto

A realização deste ensaio irá determinar se o material compósito possui alta resistência ao impacto, que dessa forma viabilizará a utilização do material compósito para cinta de proteção da CVT que apresente resistência ao impacto superior ao aço SAE 1010. Assim, utilizou-se dados adquiridos por Costa (2019) que foi o ensaio de impacto do aço SAE 1010, e corpo de prova com uma espessura média de 1,5 mm, em conformidade com a norma ASTM E23 (2016). Dessa forma, foi possível fazer um comparativo dos resultados adquiridos por ele com o estudo presente neste trabalho para o emprego do material compósito laminado com um tecido de fibra de aramida bidirecional.

O ensaio de impacto Charpy no aço SAE 1010 realizado por Costa (2019), possuem os resultados da energia absorvida pelo material com os seguintes valores (19, 19, 18, 28, 30, 21, 18) J, obtendo-se um valor médio de 21,8 J com um desvio padrão de 5,01 de energia absorvida.

Os corpos de prova após a realização do ensaio apresentaram fraturas majoritariamente dúcteis, deformação plástica e contração lateral. Os resultados do ensaio de impacto Charpy realizado nos materiais compósitos, para os dois tipos de laminados o *Hand Lay-Up* e *Vacuum Bagging*, podem ser vistos nas Tabelas 7 e 8, com suas respectivas energias absorvidas (J).

Tabela 7: Valores da quantidade de energia absorvida no laminado *Hand Lay-Up*.

Resultados da energia absorvida pelo material compósito no ensaio do Charpy.	
Corpo de Prova (H)	Laminado <i>Hand Lay-Up</i> (J)
H1	22
H2	15
H3	27
H4	16
H5	27
H6	26
H7	33
Média	23,72
Desvio Padrão	5,63

Fonte: Autoria Própria, (2023).

Tabela 8: Valores da quantidade de energia absorvida no laminado *Vacuum Bagging*.

Resultados da energia absorvida pelo material compósito no ensaio do Charpy.	
Corpo de Prova (V)	Laminado <i>Vacuum Bagging</i> (J)
V1	14
V2	18
V3	18
V4	15
V5	18
V6	15
V7	14
Média	15,75
Desvio Padrão	1,77

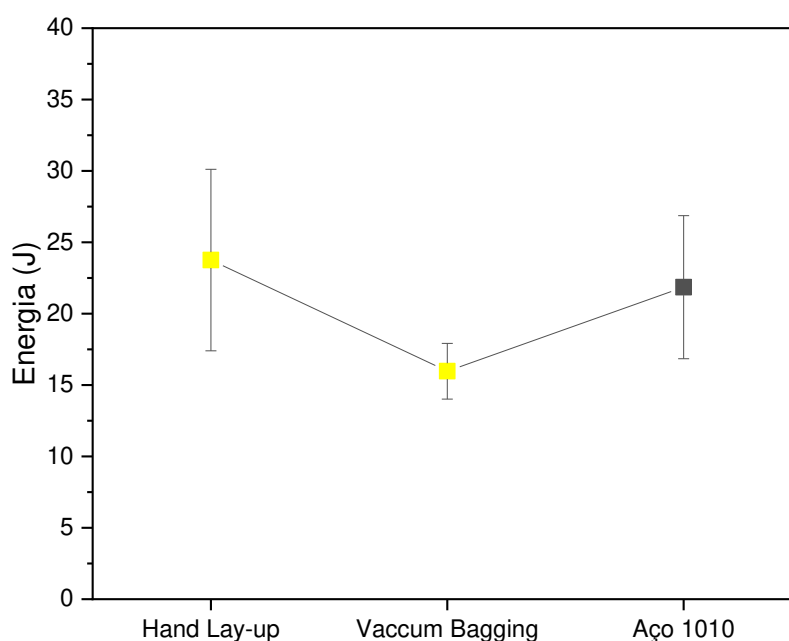
Fonte: Autoria Própria (2023).

Analisando os resultados da Tabela 7, é possível visualizar que o material compósito com 12 camadas de aramida no processo de laminação *Hand Lay-Up*, apresentou uma energia absorvida de 23,72 J que é superior ao aço SAE 1010 com uma energia absorvida de 21,8 J. A Tabela 8, apresenta os dados para o material compósito no processo de laminação *Vacuum Bagging*, que teve 15,75 J de energia absorvida, podendo visualizar que para esse processo os valores foram mais baixos do que a do Aço SAE 1010 e o compósito com a laminação *Hand Lay-Up*. A título de comparação, Viana (2022) que obteve para 6 camadas de aramida e 4 de vidro 8,56 J e para 8 camadas de aramida e 4 de vidro 12,56 J com o processo de *Hand Lay-Up*.

5.4 Viabilidade da utilização dos laminados compósitos em substituição do aço SAE 1010

No quesito de quantidade de energia absorvida tanto para os materiais compósitos quanto para o aço SAE 1010, foi observado que o laminado *Hand Lay-Up* se mostrou 8,7% superior ao aço SAE 1010, enquanto que o laminado *Vacuum Bagging* se mostrou 36,8% inferior ao aço SAE 1010, conforme é demonstrado no Gráfico 1, os dados do Aço SAE 1010 foram obtidos por Costa (2019).

Gráfico 1: Energia absorvida pelos materiais compósitos e aço SAE 1010.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Na laminação *Hand Lay-Up*, observando o valor médio, fica evidente a sua superioridade de energia absorvida em relação ao aço SAE 1010, como apresentado no estudo de Costa (2019) sobre o aço. Desta forma, se tem um indicativo muito forte para ser produzido a cinta de proteção da CVT do protótipo do tipo baja com o material compósito laminado pelo processo de fabricação *Hand Lay-Up*.

Porém, deve-se observar os desvios padrões de ambas as amostras. Logo, para comprovação e validação dos dados das médias obtidas com os resultados da energia absorvida para os materiais, foi utilizado uma Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey. A ANOVA consiste em comparar as variâncias entre as médias de grupos diferentes, logo sendo possível realizar comparações múltiplas. Tal método informa se possui ou não ao menos um tratamento que difere entre os demais aplicados, mas não diz qual média é diferente de qual.

Diante disso, faz-se necessário a utilização do teste de Tukey, que com base na amplitude total estudentizada pode ser aplicado para comparar toda e qualquer diferença entre duas médias em tratamento, ou seja, esse teste irá indicar qual as médias em tratamento são iguais ou se diferem. Com o auxílio do software Origin®, foi possível realizar o teste de Tukey por meio de sua ferramenta. No software foram colocados todos os valores das energias absorvidas do laminado *Hand Lay-Up*, *Vacuum Bagging* e aço SAE 1010. Portanto, foi constatado que a média do aço comparado com os dois laminados compósitos não existe diferença, em que o teste foi realizado ao nível de significância de 5%. Porém, o processo de laminação *Hand Lay-Up* se mostrou superior a laminação *Vacuum Bagging*, ou seja, os diferenciam. Logo, o laminado *Hand Lay-Up* se apresentou superior, pois está possivelmente associado a uma quantidade maior de resina, em relação ao laminado *Vacuum Bagging* que é um plástico, já que os dois laminados foram produzidos com 12 camadas de aramida e a única coisa que diferenciam um do outro é a quantidade de resina.

De acordo com os requisitos estabelecidos pelo RATBSB e os resultados que foram adquiridos do material compósito produzido, a configuração que teve maior resistência ao impacto foi a do laminado pelo processo *Hand Lay-Up* com 12 camadas de aramida (**12A**). O material compósito deve ter o dobro de espessura do aço SAE 1010, isto é, uma espessura mínima de 3mm. Dessa forma, com a obtenção dos resultados para tal configuração do compósito, viabiliza-se sua utilização para a produção da cinta da proteção da CVT, pois teve uma resistência ao impacto superior ao aço SAE 1010.

5.5 Comparativo da redução de massa do material compósito em relação ao aço SAE 1010

Após a realização do ensaio de impacto para a validação da substituição ou não do material compósito para a cinta da proteção da CVT, faz-se necessário a obtenção do percentual de massa que terá a nova peça. Desse modo, é possível comparar as massas do material compósito e do aço SAE 1010, visando o uso do compósito laminado para a produção deste novo componente.

Com o projeto da proteção da CVT concluído, é possível obter toda a área que a cinta ocupará. Encontrando o valor da área que a cinta possui, é possível encontrar o volume aproximado do aço SAE 1010 com 1,5 mm e o material compósito laminado *Hand Lay-Up* com 12 camadas de aramida com uma espessura média de 3,77 mm. Desta forma podendo realizar a comparação de massa dos materiais utilizando as densidades de cada um.

Pelo regulamento RATBSB, a proteção da CVT deve possuir em toda a sua área radial o reforço, que em caso de falhas vem a proteger os pilotos de possíveis acidentes. Pelo projeto tem-se que a área da cinta para reforçar a proteção é de $305761,2 \text{ mm}^2$, e com esse resultado pode-se encontrar o volume necessário para o aço e para o laminado compósito. A Tabela 9 apresenta os valores dos volumes necessários para cada reforço.

Tabela 9: Volume necessário para cada reforço.

Material	Espessura (mm)	Volume (cm ³)
Aço SAE 1010	1,50	458,64
Laminado <i>Hand Lay-Up</i>	3,77	1152,71

Fonte: Autoria própria, (2023).

Com todos os valores para o volume, se faz a necessidade de encontrar a densidade de cada material estudado. Então a densidade do aço SAE 1010 foi adquirida por meio da literatura e a do laminado de aramida foi encontrado anteriormente por meio do ensaio de densidade volumétrica. Diante de todos esses dados obtidos pode-se encontrar a massa necessária para cada reforço. A Tabela 10, mostra os valores da massa para os dois tipos de materiais.

Tabela 10: Massa necessária de cada material para reforço.

Material	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)	Massa (Kg)
Aço SAE 1010	458,64	7,87	3,61
Laminado <i>Hand Lay-Up</i>	1152,71	1,23	1,41

Fonte: Autoria própria, (2023).

Por meio dos resultados adquiridos de massa de cada material utilizado como reforço para a proteção da CVT, o material que se mostrou mais benéfico foi o laminado *Hand Lay-Up* com 12 camadas de aramida, com uma redução de massa de 156,03% em relação ao aço SAE 1010. A utilização do material compósito irá proporcionar uma redução de massa bastante significativa. Diante de uma pesquisa de mercado com os valores de cada material utilizado para a produção da nova cinta de proteção da CVT, como mostra as Tabelas 11 e 12.

Tabela 11: Custo para produção de cinta com o aço SAE 1010.

Material	Componentes	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)
Aço SAE 1010	Chapa de aço	400,00	400,00

Fonte: Autoria própria, (2023).

Tabela 12: Custo para produção da cinta com o tecido de aramida.

Material	Componentes	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)
Aramida	Resina e Catalisador	288,00	1.038,00
	Tecido de fibra de aramida	750,00	

Fonte: Autoria própria, (2023).

Assim, foi possível obter que para a produção com o material compósito o custo é de R\$ 1.038,00 reais e o custo para sua produção com o aço SAE 1010 é de R\$ 400,00 reais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos e analisados neste trabalho, foi possível considerar que o laminado *Hand Lay-Up* com 12 (**12A**) camadas de aramida, apresentou a melhor configuração para a substituição do material compósito pelo aço SAE 1010. O material apresentou uma espessura superior a 3 mm e capacidade de absorver energia 8,7% superior ao do aço, assim contemplando todas as exigências descritas no Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil (RATBSB).

O laminado *Vacuum Bagging* com 12 (**12A**) camadas de aramida, apresentou uma espessura inferior a 3 mm e capacidade de absorver energia 36,8% inferior ao aço SAE 1010, dessa forma não podendo ser utilizado como reforço para a cinta de proteção da CVT. À vista disso, para que o laminado pelo processo a vácuo venha a possuir uma espessura igual ou superior a 3 mm e que consiga ter uma resistência ao impacto superior ao aço 1010, poderia aumentar a quantidade de camadas no laminado para cerca de 15 camadas de aramida.

A fim de comprovar e validar os dados das médias adquiridas, foi empregue um método estatístico denominado de teste de Tukey, que com os resultados da energia absorvida dos materiais é possível realizar uma análise de igualdade ou diferenciação entre duas médias em tratamento. O teste comprovou que as médias dos laminados *Hand Lay-Up* e *Vacuum Bagging* não diferem do aço SAE 1010, enquanto que as médias do laminado *Vacuum Bagging* e o *Hand Lay-Up* diferem. Logo, a utilização do material compósito com 12 camadas de aramida pelo processo de fabricação *Hand Lay-Up* teve resultados superiores ao *Vacuum Bagging* e equivalente ao aço SAE 1010, logo mostra-se apto para substituir o na cinta de proteção da CVT.

Com o ensaio de densidade volumétrica, foi possível adquirir as densidades dos laminados fabricados *Hand Lay-Up* que foi de 1,23 g/cm³ e *Vacuum Bagging* de 1,25 g/cm³. Realizado o teste de densidade, foi obtido com a conclusão do projeto a área radial da proteção da CVT onde terá o reforço com o laminado compósito. Por meio dos valores das densidades e volumes dos materiais, obteve-se a massa necessária de cada reforço, tanto para o laminado compósito quanto para o aço SAE 1010, mostrando que a utilização do material compósito irá proporcionar uma redução de massa de 156,03%.

Por tanto, a partir do estudo realizado foi possível evidenciar a utilização de materiais compósitos para substituição do aço em cinta de proteção da CVT, apresentando as suas vantagens e desvantagens em relação ao comportamento mecânico dos materiais e a massa que cada um deles agregam para a fabricação do componente.

Assim, pode-se comprovar que o laminado pelo processo de fabricação *Hand Lay-Up* com 12 camadas de tecido bidirecional de aramida, atende a todos os requisitos estabelecidos RATBSB, podendo ser utilizado esse tipo de material para a confecção da cinta de proteção, que irá proporcionar uma redução de massa bastante considerável.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. A. **Caracterização da Resposta Dinâmica de uma CVT por Polias Expansivas**. 2003. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3878**: Standard terminology of high-modulus reinforcing fibers and their composites. Estados Unidos, 2007. 5 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D6110**: Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics¹. Estados Unidos, 2010. 17 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D792**: Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement. Estados Unidos, 2008. 6 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E23**: Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials. Estados Unidos, 2016. 26 p.

ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelin J. **Ciência e engenharia dos materiais** – Tradução da 4ª edição norte-americana. Cengage Learning Brasil, 2019.

BATISTA, Ana Claudia de M. C. **Comportamento mecânico de compósitos poliméricos híbridos: estudos experimentais, analíticos e numéricos**. 2017. Tese (Doutorado em engenharia mecânica) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal.

BATISTA, A. C. M. **Envelhecimento ambiental em compósitos poliméricos à base de tecidos de reforço híbridos**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2013.

CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais um Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, Rio de Janeiro, 2013.

COSTA, Leocádio Cristino Aires. **Avaliação da resistência ao impacto dos compósitos poliméricos (Carbono/Aramida) em relação ao aço SAE 1010**. 2019. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Engenharia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.

DIRECT INDUSTRY. **Fibra de Aramida**. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/fibra-aramida-73673.html>. Acesso em: 4 mai. 2023.

FIBERTEX. **Tecido de fibra de aramida**. Disponível em: <http://fibertex.com.br/tecido-de-fibra-de-aramida-tecidos-para-compositos/>. Acesso em: 27 abr. 2023.

FREITAS, V. J. G. **Resposta ao impacto longitudinal e transversal de laminados de vidro/epóxi**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Portugal, 2016.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 247 p.

GOMES, Fábio S.; CUNHA, Lays E. **Aplicação de Tratamento Estatístico Utilizando o Método de Tukey para Análise de Ruído e Vibração de Veículos SUV**. Revista Processos Químicos, Anapólis, v. 14, n. 28, p. 75-82, dez./2020. Disponível em: http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/603. Acesso em: 3 mai. 2023.

LIMA, Fabrício Ferreira. **Análise da influência da tolerância dimensional nos valores de energia absorvida durante o ensaio de impacto mini charpy**. 2019. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

LIMA, Moisés Medeiros de. **Influência do percentual dos constituintes nas propriedades mecânicas à tração em compósito polimérico híbrido (carbono/vidro/epóxi)**. 2021. 72 f.

TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Ciência e Tecnologia, Centro Multidisciplinar de Caraúbas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2021.

LOURENÇO, Tiago José Serrador. **Estudo da injeção experimental e numérica de peças produzidas em material compósito de matriz polimérica**. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2020.

LOPES, Inês Abreu Freire. **Estudo do processo de infusão a vácuo em materiais compósitos**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

MARTELLO, André; BLEICHVEL, N. C. T. **Análise sobre o uso de fibra de carbono e aramida em reforço estrutural**. IGNS, Santa Catarina, v. 9, n. 2, p. 19-39, ago./2020. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/2497/1285>. Acesso em: 26 jan. 2023.

MARINUCCI, Gerson. **MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS: Fundamentos e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: ArtLiber, 2019. p. 19-319.

MENDES, A. P. L. **Efeito da adição de fibras sintéticas e naturais nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas autonivelantes com metacaulinita**. 2019. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2019.

MOREIRA, A. M. **Materiais de Construção I**. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Tomar. Tomar, 2009.

NASSEH, J. **Métodos avançados de construção de barcos**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2007.

NETO, Flamínio L.; PARDINI, Luiz C. **Compósitos estruturais: Ciência e Tecnologia**. Editora Blucher, 2016.

OLIVEIRA, J. F. S., **Plásticos reforçados a base de tecidos híbridos: efeitos da anisotropia e geometria normativa na caracterização mecânica e da fratura**. Natal, RN: 2013. 180 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

OLIVEIRA, A. F. G. TESTES ESTATÍSTICOS PARA COMPARAÇÃO DE MÉDIAS. **Revista Eletrônica Nutritime**, Maringá, v. 5, n. 6, p. 777-788, nov./2008. Disponível em: <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-076.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PARAPINSKI, Ricardo. **Aplicação de transmissão cvt para sistemas de mobilidade elétrica**. 2019. 23 f. TCC (Graduação) - Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

PEIXOTO, Daniel Lourenço. **TIPOS DE MATERIAIS COMPÓSITOS**. 45 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

PEREIRA, J. M. C. R. **Desenvolvimento e fabrico de compósitos de matriz polimérica com fibras naturais**. 2017. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Design de Produto), Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria 2017.

PIRES, E. N. *et al.* **Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Juta no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Epóxi**. **Polímeros**, Florianópolis, v. 22, n. 4, p. 339-344, ago./2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/9csWFXx8VLr9H8PrrXP9b6L/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 jan. 2023.

REDECENTER. **Resina epóxi 2001 e endurecedor**. Disponível em: <https://www.redelease.com.br/resina-epoxi-transparente-com-endurecedor-1-5-kg.html>. Acesso em: 19 abr. 2023.

SANTOS, Danielton Gomes. **Estudo termo-hídrico e caracterização mecânica de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra vegetal: simulação 3d e experimentação**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SAE BRASIL, 2021. “Regulamento Baja SAE Brasil: Competição Baja SAE Brasil – E4”.

SULPLAST. **Hand Lay Up (HLU)**. Disponível em: https://www.sulplast.com.br/pt_BR/tecnologia-e-processos/fibra-de-vidro/hlu. Acesso em: 28 jan. 2023.

SCHÖNTAG, J. M. **Caracterização da profundidade de defeitos em materiais compósitos utilizando shearografia com carregamento vibracional**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia Científica e Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

VALENÇA, Silvio Leonardo. **Estudo de envelhecimento e propriedades mecânicas de compósito epóxi reforçado com tecido plano de kevlar e híbrido vidro/kevlar**. 2014. Tese (Doutorado em ciência e engenharia dos materiais) - Universidade Federal De Sergipe, São Cristovão.

VENTURA, A. M. F. **Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas**. Ciência & Tecnologia dos Materiais, Lisboa, v. 21, n. 3, p. 10-19, ago./2009. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56718300/materiais_compositos_em_geral-libre.pdf?1528054917=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DOs_CompositOs_e_a_sua_apliCacaO_na_Reabi.pdf&Expires=1674586813&Signature=eLU7wdbg5fRp5Jhs-J2iR38dX15gGsYSBfx2QRpPjBF~aW-hXZUbckMzS~O0YugU9nF2sPjmlHfCD. Acesso em: 25 jan. 2023.

VIANA, Pedro Henrique Pinto Tôrres. **Estudo da viabilidade na utilização de compósitos poliméricos (fibra de vidro e aramida) em cinta de proteção para cvt de veículo baja**. 2022. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2022.

WEST SYSTEM. **Vacuum Bagging Techniques**. 7 ed. Bay City: Gougeon Brothers, 2010.