

# DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM MATERIAL COMPÓSITO DE RESINA POLIÉSTER E FIBRA DE VIDRO

Luiz Guilherme Muniz Teixeira (UFSC) E-mail: lguilherme.tex@gmail.com

**Resumo:** Os materiais compósitos podem ser definidos como a combinação de dois ou mais materiais, sendo aplicados em diversos ramos de acordo com a necessidade de utilização devido sua alta versatilidade. Normalmente o processo de união é feito através da combinação de uma matriz líquida com reforços fibrados. No setor náutico, esse material é chamado de Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), que é um material de boas características obtido através de um processo de laminação. A laminação manual é amplamente utilizada por ser uma técnica com baixo custo e mais praticidade na obtenção do material compósito. Assim, este trabalho teve como objetivo produzir um material compósito de resina poliéster e fibra de vidro com variação na organização das camadas de mantas e tecidos da fibra para que fosse feita a determinação das propriedades mecânicas do laminado. De cada placa resultante da variação da organização do laminado foram obtidos cinco corpos de prova, que foram sujeitos ao ensaio mecânico de tração, sendo possível obter os valores de tensão máxima, deformação máxima e módulo de elasticidade. Os resultados obtidos demonstram que os tecidos possuem propriedades mecânicas mais elevadas que as mantas devido a organização dos fios da fibra de vidro, o que os tornam relevantes no processo de laminação. Portanto foi possível indicar qual a configuração de camadas que obteve propriedades mecânicas mais elevadas e qual é a mais indicada para ser utilizada no setor náutico.

**Palavras-chave:** Compósitos, Poliéster, Fibra, Propriedades mecânicas.

## DETERMINATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A POLYESTER RESIN AND FIBERGLASS COMPOSITE MATERIAL

**Abstract:** Composite materials can be defined as the combination of two or more materials, being applied in various fields according to the need for use due to their high versatility. Usually, the joining process is done by combining a liquid matrix with fibrous reinforcements. In the nautical sector, this material is called Fiberglass Reinforced Plastic (FRP), which is a material of good characteristics obtained through a lamination process. Manual lamination is widely used because it is a technique with low cost and more practicality in obtaining the composite material. Thus, this work aimed to produce a composite material of polyester resin and fiberglass with variation in the organization of the layers of blankets and fiber fabrics in order to determine the mechanical properties of the laminate. From each plate resulting from the variation in the organization of the laminate, five specimens were obtained, which were subjected to the mechanical tensile test, being possible to obtain the maximum stress, maximum strain, and modulus of elasticity values. The results obtained show that the fabrics have higher mechanical properties than the blankets due to the organization of the glass fiber yarns, which makes them relevant in the lamination process. Therefore, it was possible to indicate which layer configuration obtained higher mechanical properties and which is the most suitable to be used in the nautical sector.

**Keywords:** Composites, Polyester, Fiber, Mechanical properties.

### 1. Introdução

Materiais compósitos aparecem como uma solução para diversas empresas que buscam inovações em suas iniciativas, pois são elementos com elevadas propriedades mecânicas, elevado desempenho e baixo custo de produção. Eles consistem na união de dois ou mais materiais com características diferentes um do outro e que, juntos, proporcionam um material mais leve e com propriedades mais vantajosas às dos componentes iniciais (AGARWAL; BROUTMAN; CHANDRASHEKHARA, 1990).

Para a escolha da matéria-prima a ser utilizada na obtenção de materiais compósitos, deve ser realizada com o intuito de obter um menor custo na produção, mas com as propriedades satisfatórias à utilização. Deste modo, é de suma importância que a escolha seja feita de forma criteriosa para que o material seja de alta qualidade e de baixo custo, assim como a técnica de laminação a ser utilizada no processo de união, visto que o preço e a qualidade são diretamente influenciados pela técnica utilizada (MARINUCCI, 2011).

O processo de obtenção de um material compósito pode ser feito através de diversas técnicas de laminação. Na indústria náutica, normalmente, são utilizadas as técnicas de laminação por infusão, laminação a vácuo e laminação manual, sendo as características do compósito dependentes da técnica que será utilizada para sua obtenção, pois cada uma possui suas vantagens e desvantagens (NASSEH, 2011). Embora seja uma técnica inferior quando se compara sua eficácia com os outros meios de laminação, a manual é extremamente utilizada por ser um método simples e barato para se obter materiais compósitos (AL-QURESHI, 2010).

Na indústria náutica, esse material compósito é conhecido por plástico reforçado por fibra de vidro (PRFV), sendo utilizado em grande escala por apresentar características vantajosas quando comparados com outras classes de materiais, como, por exemplo, seu baixo custo de produção, elevado desempenho e elevada resistência à corrosão, o que o torna atraente para ser utilizado no processo de construção de embarcações e demais componentes (NASSEH, 2011).

De acordo com Greene (1999), o compósito incorpora reforços suportados por uma matriz líquida, que é a resina, antes de se transformar num material sólido através de um processo de reação química. Segundo Al-Qureshi (2010), a matriz líquida possui características como elasticidade e resistência inferiores ao reforço. Normalmente, a matriz utilizada é de base polimérica pelo baixo custo e elevadas propriedades. Enquanto a fibra oferece maior resistência e rigidez ao composto, a resina proporciona a rigidez do material ao meio (MAZUMDAR, 2002).

Além de fornecer um material mais leve e resistente à corrosão, o PRFV também proporciona outras boas propriedades para a indústria náutica, como uma elevada resistência ao impacto e simplicidade no método de fabricação, supervisão e correção, fazendo com que este seja amplamente utilizado desde a década de 1960 para a construção de embarcações e demais reparos no setor náutico (GREENE, 1999).

Outro componente que possui diversas vantagens, mas que também devem ser consideradas suas desvantagens, é a fibra de vidro, que pode ser obtida em forma de manta ou tecido, por exemplo. Segundo Kaw (2006), esse tipo de reforço possui propriedades inferiores a outros tipos de reforços quando se trata da sua adesão a resinas, resistência à abrasão, resistência à fadiga e módulo de elasticidade.

Segundo Greene (1999), o projetista tem que buscar propriedades mecânicas eficazes nos laminados para que se obtenha um projeto de embarcação com alto nível de desempenho. Assim, é necessário determinar as propriedades mecânicas e comportamento do material produzido sujeitos à esforços através de ensaios mecânicos, como o de tração, que consiste na aplicação de uma força de tração em um corpo de prova devidamente regulamentado pela sociedade classificadora até que este sofre um alongamento até que atinja seu ponto de ruptura (CALLISTER JÚNIOR;

RETHWISCH, 2010). Neste ensaio, é possível obter a tensão normal média e a deformação total média de um laminado, sendo possível obter a resistência do material (ASTM).

O presente trabalho propõe a produção de laminados feitos com resina poliéster e fibra de vidro utilizando a técnica de laminação manual com variação da gramatura da fibra de vidro e organização das camadas do laminado com o intuito de obter corpos de prova retirados de cada placa laminada para serem submetidos ao ensaio de tração seguindo as normas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para obter as propriedades mecânicas do material compósito produzido (TEIXEIRA, 2021).

## 2. Metodologia

### 2.1 Materiais

Para o processo de laminação manual, foi feito o uso da fibra de vidro em manta de 300g/m<sup>2</sup>, manta 450g/m<sup>2</sup> e o tecido biaxial 1808 da Central Fibras, e resina poliéster cristal da Sulfibra. Não foi feito o uso do *gel coat* para ajudar na laminação, uma vez que o bom acabamento da superfície do material produzido não é de suma importância para a realização do ensaio mecânico de tração. O agente desmoldante utilizado foi a cera da empresa TecGlaze-N, que é um produto que facilita a remoção do laminado que está em contato com o molde.

Além dos itens cruciais para a produção do compósito, outros materiais e equipamentos foram necessários para a fabricação dos laminados, como fita métrica, fita isolante, palito de madeira, balança de precisão, tesoura, calculadora, pincel, rolete, espátula de metal e diluente. A Figura 1 apresenta alguns dos produtos utilizados no processo.

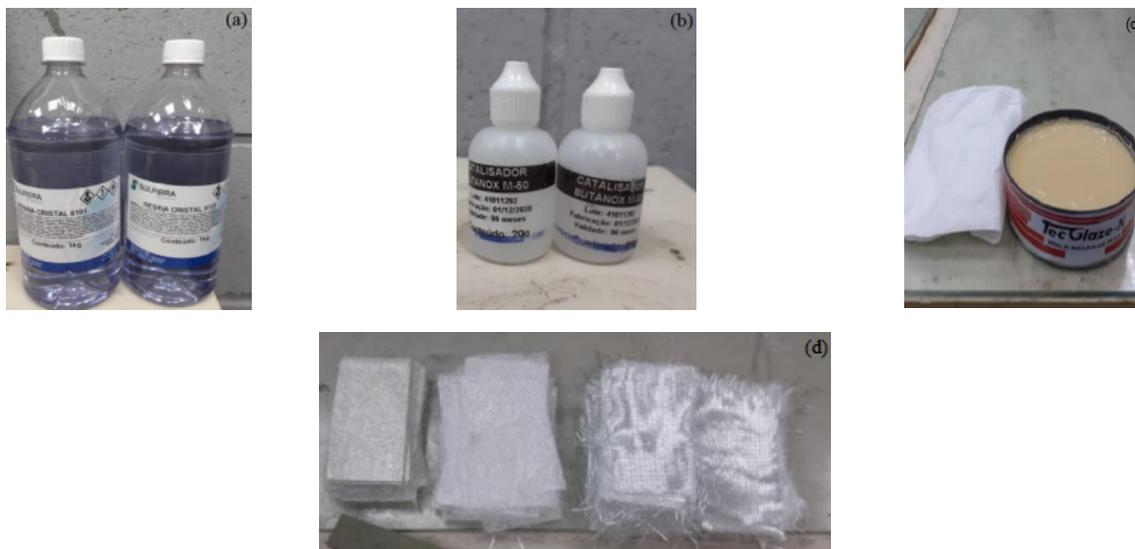


Figura 1. SEQ Figura 1 - Resina poliéster (a), catalisador (b), cera desmoldante (c) e manta e tecido (d)

### 2.2 Laminação manual

Como a temperatura ambiente é um agente influenciador do resultado do processo, foi verificada a condição do espaço, que foi de 23 °C, sendo em 72 horas o tempo total de cura do laminado. As dimensões das placas produzidas foram de 18 cm de comprimento por 9 cm de largura.

Para dar início ao processo, foi feita a higienização do molde de vidro com o diluente para retirar qualquer tipo de sujeira que pudesse impactar nas propriedades do material. Em seguida, foi feita a aplicação da cera desmoldante em 3 momentos intercalados em um intervalo de 10 minutos.

A parcela de resina foi averiguada utilizando a balança de precisão, sendo utilizado o catalisador na proporção de 1% em peso, que, de acordo com a empresa fabricante, a quantidade é de 35 gotas do produto para cada 100 g de resina.

Feita a limpeza e preparação do molde, foi iniciado o processo de laminação utilizando um pincel para a aplicação da resina, intercalando com uma camada de fibra de vidro, conforme as variações sugeridas para o trabalho. O rolete foi utilizado para auxiliar na remoção de bolhas entre as camadas do laminado, que podem interferir nas propriedades finais do compósito obtido.

Foi realizada a laminação de nove placas, sendo uma considerada a configuração inicial e as demais denominadas de configurações subsequentes desta base. O objetivo dessas mudanças na organização das camadas, variando a quantidade de manta e tecido, e a gramatura da manta, é analisar, após o ensaio mecânico de tração, qual das composições possui melhores propriedades mecânicas. Deste modo, a Tabela 1 ilustra as variações dos arranjos feitos.

Tabela 1 - Variações dos arranjos

CONFIGURAÇÃO	manta 300	manta 450	tecido 1808
0 – Inicial (sem alteração)	1	2	4
1 - Acrescentar uma camada de manta 300	2	2	4
2 - Acrescentar duas camadas de manta 300	3	2	4
3 - Acrescentar duas camadas de manta 450	1	4	4
4 - Acrescentar uma camada de manta 300 e duas de manta 450	2	4	4
5 - Retirar uma camada de manta 300	0	2	4
6 - Retirar 4 camadas de tecido 1808	1	2	0
7 - Retirar duas camadas de tecido 1808	1	2	2
8 - Acrescentar uma camada manta 300 e retirar 4 de tecido 1808	2	2	0

Fonte: O Autor

### 2.3 Preparação dos corpos de prova

A produção dos corpos de prova foi realizada de acordo com os padrões de dimensionamento da ASTM D 3039 e, sequencialmente, essas amostras foram submetidas ao ensaio mecânico de tração para que pudesse determinar as características mecânicas do compósito produzido.

Assim, seguindo a norma, foram obtidas amostras com a dimensão de 15 cm de comprimento e 1,5 cm de largura, resultantes dos cortes realizados com o auxílio de uma máquina de serra com o disco de corte diamantado. Além do equipamento de corte,

foi utilizada uma fita métrica para dimensionar cada corpo de prova na placa laminado e uma caneta para demarcar a linha do corte.

## 2.4 Ensaio mecânico de tração

Seguindo a norma da ASTM D 3039, que é utilizada para que seja determinada a resistência à tração em compósitos, foi feito o ensaio mecânico de tração na Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Blumenau, que possui no Laboratório de Ensaio Mecânicos uma máquina Universal de Ensaio Instron, modelo EMIC 23-100. A temperatura média ambiente no dia foi de 18 °C e a umidade relativa do ar de 83%.

Foi feito o uso da de 5 kN para a realização do ensaio nas configurações de menor espessura, porém, nos corpos de prova mais espessos, foi necessário utilizar a de 100 kN para que os mesmos pudessem sofrer a ruptura desejada no teste. A velocidade da operação do ensaio ajustada para 4 mm/min. A Figura 2 ilustra a máquina utilizada (a) no ensaio juntamente com um corpo de prova rompido (b) após ser submetido ao esforço de tração e a célula de carga de 100 kN (c).

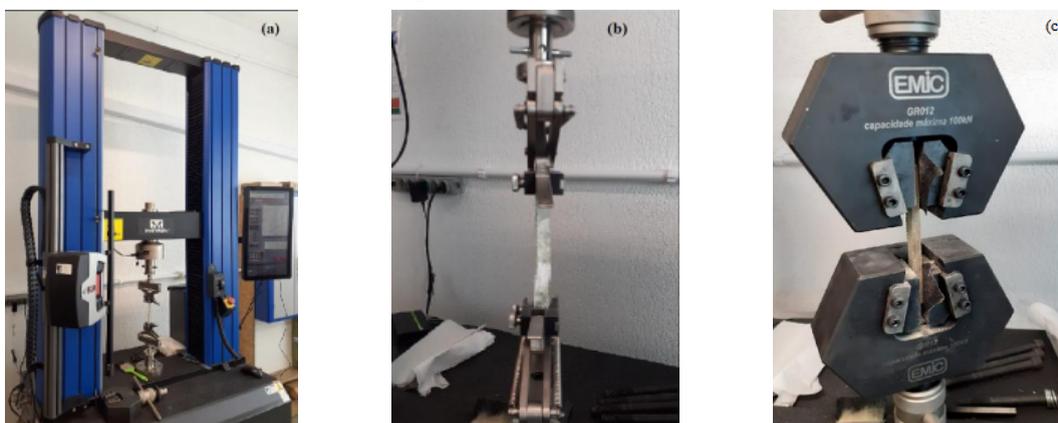


Figura SEQ Figura \\* ARABIC 2 - Máquina universal (a), corpo de prova rompido no ensaio (b) e a célula de carga de 100 kN (c)

## 3. Resultados e análise de dados

O ensaio foi feito seguindo os padrões da norma ASTM D 3039, que diz eu é preciso verificar a largura e a espessura dos corpos de prova em três pontos para que seja obtida a largura média e a espessura média e, assim, calcular a área da seção transversal média das amostras do ensaio, conforme os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Área da seção transversal média das configurações

Configuração	Média da área da seção transversal (mm <sup>2</sup> )
Inicial	90,54
1	90,57
2	111,80
3	116,60
4	123,42
5	80,64
6	30,42
7	69,98
8	45,33

Fonte: O Autor

O ensaio mecânico de tração consiste na aplicação de uma carga no corpo de prova provocando uma deformação no material até que ele se rompa (GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. D., 2012) e através dessa deformidade é possível obter a força aplicada e o deslocamento, que são dados utilizados para o cálculo dos valores das propriedades mecânicas, de acordo com as Equações 1, 2 e 3.

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

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

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

O valor da tensão ( $\sigma$ ) é obtido através da Equação 1, com a razão entre a força ( $F$ ) e o valor instantâneo da área da seção transversal ( $A$ ). A deformação do material é calculada através da Equação 2, que relaciona o deslocamento ( $\Delta l$ ) e o comprimento inicial ( $l_0$ ) do corpo de prova. Assim, seguindo os princípios da Lei de Hooke, é possível obter o Módulo de Elasticidade ( $E$ ) através da Equação 3, que relaciona o valor de  $\sigma$  com  $\varepsilon$ .

Foi realizado o ensaio de tração em 5 corpos de prova de cada configuração proposta para o trabalho, totalizando 45 amostras, com o intuito de obter as propriedades mecânicas dos compósitos produzidos, como tensão máxima, deformação máxima e módulo de elasticidade. Como houve escorregamento da garra da máquina durante o ensaio, foi escolhida uma faixa para o cálculo do módulo de elasticidade (35 MPa até 50 MPa) para que pudesse ser obtido um valor mais preciso durante o ensaio. Assim, um corpo de prova da configuração 8 foi retirado da análise porque foi a única amostra que sofreu ruptura com uma tensão fora do intervalo escolhido para determinar a módulo de elasticidade (TEIXEIRA, 2021).

Das 9 configurações submetidas ao ensaio mecânico de tração, apenas a configuração 6 teve rompimento completo, sendo essa a mais fina, com apenas três lâminas na sua organização. Já as outras variações, como a 3, que é uma das mais espessas, não sofreu rompimento completo, tendo sua ruptura na região próxima às garras do equipamento, onde acabou tendo maior concentração de tensão. A Figura 3 ilustra a configuração 6 rompida por completo (a) e a configuração 3 com rompimento parcial (b).

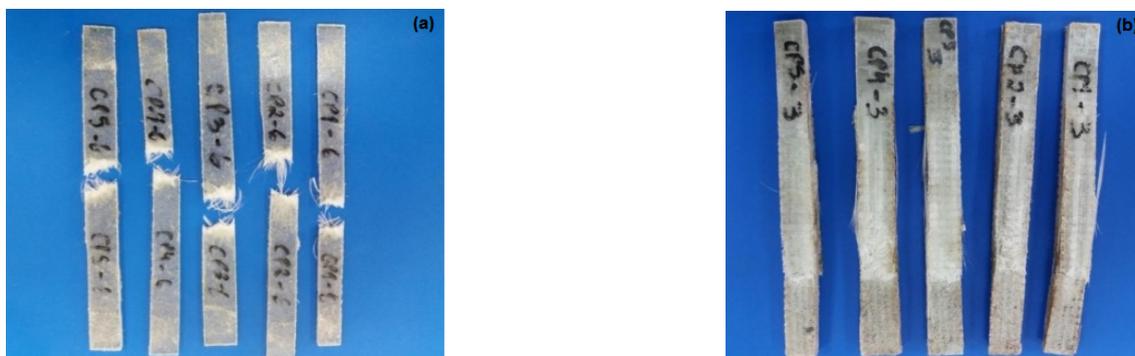


Figura SEQ Figura \\* ARABIC 3 - Configuração 6 rompida totalmente (a) e configuração 3 rompida parcialmente (b)

Após o cálculo das propriedades das amostras de cada configuração, foi possível calcular a média, o desvio padrão e o Intervalo de Confiança (*IC*) da tensão máxima, da deformação máxima e do módulo de elasticidade de cada modelo, aplicando a distribuição *t* de *Student* com nível de confiança 95% e Nível de Significância (*NS*) 5%. De acordo com Barbetta *et al.* (2009), o Intervalo de Confiança pode ser calculado pela Equação 4.

$$IC = x_m \pm t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Na Equação 4,  $x_m$  simboliza a média,  $t$  é o valor (2,776) retirado da tabela de *Student*,  $s$  significa o desvio padrão de amostragem e  $n$  representa o número de amostras.

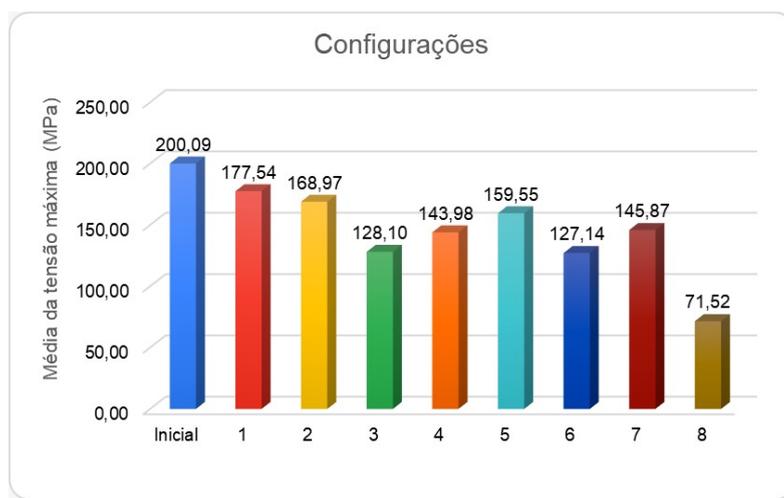
Deste modo, foi possível calcular a média da tensão máxima admissível, a média da deformação máxima e a média do módulo de elasticidade de todas as configurações produzidas. Com exceção da configuração 8, que possui apenas quatro corpos de prova, todas as demais possuem cinco amostras para a análise.

A Tabela 3 indica os valores obtidos no cálculo da média da tensão máxima, que indica que a configuração inicial sustenta uma maior tensão (em MPa) ao mesmo tempo que a configuração 8, que é uma das menos espessas, se mostrou menos resistente. Na configuração 6, que é a mais fina, foi considerado que houve incerteza nos dados obtidos, pois houve um elevado escorregamento das amostras nas garras das células de carga e essa imprecisão resultou em um valor elevado para a média da tensão máxima admissível. Já a Figura 4 ilustra um gráfico comparativo da média dos valores obtidos.

Tabela 3 - Média da tensão máxima admissível

Configuração	Tensão Máxima (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Nº de Amostras	Coefficiente T	IC [95%] (MPa)	Limite Superior (MPa)	Limite Inferior (MPa)
Inicial	200,9	28,19	5	2,776	34,99	235,09	165,10
1	177,54	16,52	5	2,776	20,51	198,05	157,04
2	168,97	13,96	5	2,776	17,33	186,31	151,64
3	128,10	17,56	5	2,776	21,80	149,90	106,30
4	143,98	18,29	5	2,776	22,71	166,69	121,27
5	159,55	12,46	5	2,776	15,47	175,01	144,08
6	127,14	23,98	5	2,776	29,77	156,91	97,37
7	145,87	12,68	5	2,776	15,74	161,61	130,12
8	71,52	14,61	4	2,776	20,28	91,80	51,24

Fonte: O Autor



Como a deformação nos tecidos de fibra de vidro é maior que a deformação nas mantas devido ao fato da organização das fibras contínuas sustentar tensões mais elevadas antes de romper e proporcionar maior alongamento das amostras, as que tiveram elevada deformação foram as configurações mais espessas, que possuem tecido nas camadas de organização. A Tabela 4 apresenta a média de deformação máxima das configurações submetidas ao ensaio de tração e a Figura 5 ilustra um gráfico comparativo desses valores obtidos durante o ensaio.

Tabela 4 - Média da deformação máxima admissível

Configuração	Deformação máxima (mm/mm)	Desvio Padrão (mm/mm)	Nº de Amostras	Coefficiente t	IC [95%] (mm/mm)	Limite Superior (mm/mm)	Limite Inferior (mm/mm)
Inicial	6,76	0,43	5	2,776	0,54	7,30	6,22
1	8,26	1,73	5	2,776	2,15	10,41	6,12
2	7,29	0,44	5	2,776	0,54	7,83	6,75
3	9,41	0,60	5	2,776	0,74	10,15	8,67
4	8,28	0,90	5	2,776	1,12	9,39	7,16
5	8,05	0,64	5	2,776	0,79	8,84	7,26
6	7,32	0,85	5	2,776	1,05	8,37	6,27
7	5,74	0,33	5	2,776	0,40	6,14	5,33
8	6,64	0,45	4	2,776	0,62	7,26	6,02

Fonte: O Autor

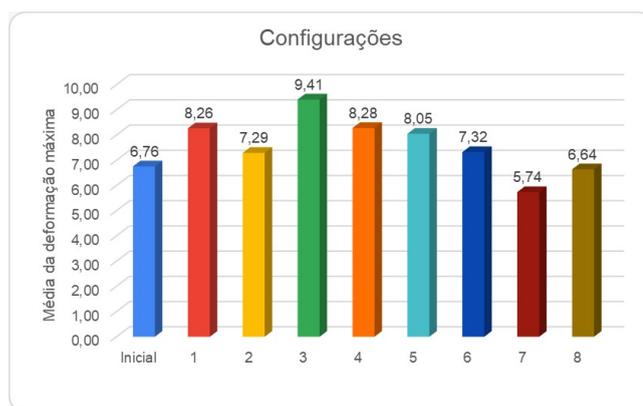


Figura SEQ Figura \\* ARABIC 5 - Gráfico de comparação da média de deformação máxima

Como o ensaio foi realizado sem um extensômetro, que tem a função de medir a deformação mecânica das amostras submetidas ao ensaio mecânico de tração, é possível que sua ausência tenha ocasionado essa elevada dispersão dos valores, como das configurações 6 e 8, que tiveram elevado alongamento médio das amostras, mesmo sem possuir camada de tecido na organização das mesmas. As bolhas geradas no material durante o processo de laminação manual também podem ter interferido nos dados obtidos. Além desses fatores, vale destacar que a máquina de ensaio mede o deslocamento das garras e não a deformação real do corpo de prova, o que pode acarretar numa interferência nos valores resultantes.

Seguindo o fato da existência da incerteza de dados, o módulo de elasticidade foi calculado através de uma análise considerando um intervalo de tensão de 35 MPa até 50 MPa, sendo considerada a porção linear em comum da curva de tensão-deformação das amostras. Quanto maior o módulo de elasticidade do material, menor a deformação elástica do emprego de uma tensão e mais rígido ele será. Assim, com a obtenção do valor do módulo de elasticidade é possível indicar a rigidez do material. Como o tecido possui uma organização melhor dos fios da fibra de vidro, ele apresenta maior resistência mecânica quando comparado à manta de fibra de vidro, que possui uma descontinuidade das fibras em sua estrutura (NASSEH, 2007).

A Tabela 5 traz a média do módulo de elasticidade das configurações e a Figura 6 demonstra o gráfico comparativo dos dados.

Tabela 5 - Média do módulo de elasticidade admissível

Configuração	Módulo de Elasticidade (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Nº de Amostras	Coefficiente t	IC [95%] (MPa)	Limite Superior (MPa)	Limite Inferior (MPa)
Inicial	23,40	4,37	5	2,776	5,43	28,82	17,97
1	19,80	2,47	5	2,776	3,07	22,87	16,73
2	19,25	1,22	5	2,776	1,52	20,77	17,73
3	11,69	0,80	5	2,776	1,00	12,69	10,69
4	14,97	2,71	5	2,776	3,37	18,34	11,60
5	16,53	0,95	5	2,776	1,18	17,71	15,35
6	22,59	1,50	5	2,776	1,86	24,45	20,73
7	20,71	2,52	5	2,776	3,13	23,84	17,58
8	15,37	1,88	4	2,776	2,62	17,98	12,75

Fonte: O Autor

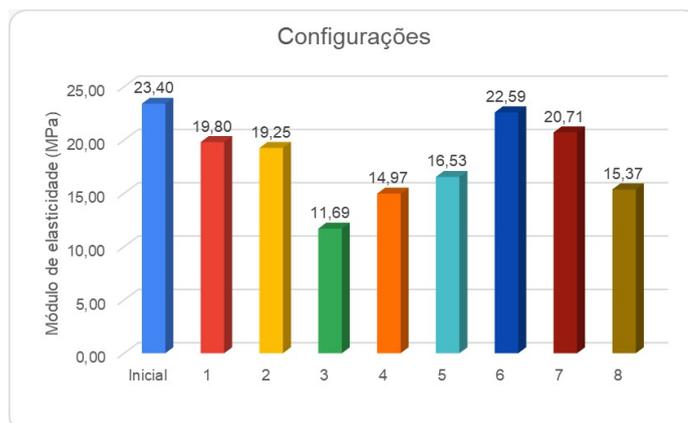


Figura SEQ Figura \^ ARABIC 6 - Gráfico de comparação da média do módulo de elasticidade

Na Figura 6, é possível observar que a configuração 3 é a menos rígida quando comparada com os demais arranjos analisados, mesmo ela possuindo tecido em sua organização. A variação 6, que é a menos espessa, apresentou um elevado valor médio para o módulo de elasticidade (22,59 MPa) além de uma taxa de deformação relativamente alta (7,32 mm/mm) para sua organização das fibras de vidro. A configuração 4 mostra que, embora seja a mais espessa, ela não apresenta um elevado módulo de elasticidade porque possui uma alta quantidade de mantas entre as camadas, mas, como essas são menos resistentes que os tecidos, não ocasional num valor elevado para a rigidez do material.

A Figura 7 ilustra a curva de tensão-deformação da configuração inicial, que resultou no valor mais elevado para o módulo de elasticidade. Também foi a que apresentou a maior média para o valor de tensão máxima admissível. Isso reafirma que possuir grande quantidade de manta na configuração não vai proporcionar maior resistência ao material. Afinal quanto mais camadas tiver no processo de laminação, é possível que mais bolhas se farão presente no material, o que acaba interferindo diretamente na resistência mecânica do mesmo.

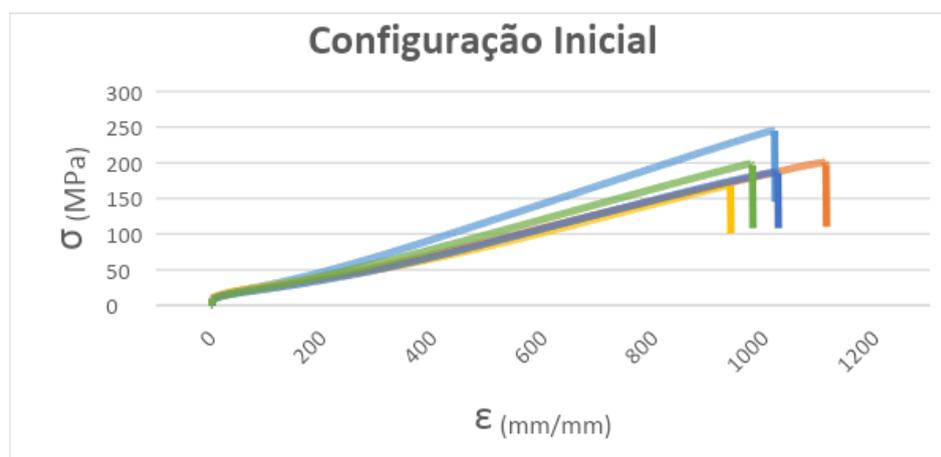


Figura SEQ Figura \^ ARABIC 7 - Curva de tensão-deformação da configuração inicial

#### 4. Conclusões

Foi feita a caracterização das propriedades mecânicas do material compósito produzido com base no produto utilizado no setor náutico através da comparação entre os dados obtidos no ensaio mecânico de tração que os corpos de prova foram submetidos, sendo

capaz de informar os valores de tensão máxima admissível, deformação máxima e do módulo de elasticidade.

Foram produzidos nove modelos de material compósito através da laminação manual, sendo que cada chapa possui uma configuração diferente da outra quando se trata da organização das camadas de tecidos e mantas de fibra de vidro. De cada forma foram obtidos cinco corpos de prova com 15 cm de comprimento e 1,5 cm de largura para que pudessem ser submetidos ao ensaio mecânico de tração respeitando as normas da ASTM D 3039, que exige uma tolerância de 1% para mais ou para menos nas dimensões de comprimento e largura das amostras.

Com os dados obtidos através do ensaio mecânico de tração foi possível observar que as configurações que possuem tecido na organização proporcionam um material com propriedades mecânicas mais elevadas. Mesmo com o auxílio da lixa d'água para ajudar na fixação, alguns corpos de prova possuem incertezas nos resultados devido ao escorregamento das garras da célula de carga ao longo das amostras, como é o caso da configuração 6.

A configuração 4 é a mais espessa produzida, porém não apresentou os melhores resultados das propriedades mecânicas. Isso se dá pelo fato de que as mantas possuem baixa resistência mecânica devido sua desorganização dos fios (NASSEH, 2008) e mostra que ter maior quantidade de camadas de manta de fibra de vidro não significa que o material vá ser mais resistente e apresentar boas propriedades mecânicas. Deste modo, algumas configurações não tiveram o comportamento esperado e os dados das propriedades mecânicas não foram os desejáveis, como a configuração 4, que é a mais espessa, mas também pode ter sofrido mais interferência em sua resistência devido às bolhas providas do processo de laminação.

Portanto, é plausível considerar que a configuração inicial é a que possui melhores propriedades mecânicas dentre as que foram analisadas neste trabalho, mostrando-se ser a mais eficiente. Essa variação apresentou uma média de tensão máxima admissível de 200,9 MPa, deformação máxima de 6,76 (mm/mm) e módulo de elasticidade de 23,40 MPa (TEIXEIRA, 2021). Isso reforça a ideia de que o tecido é mais importante do que a manta no processo de obtenção do compósito quando se busca uma elevada resistência mecânica do material.

Dentre os obstáculos para a realização deste trabalho pode-se considerar que quanto mais camadas de laminação maior é a probabilidade de existência de bolhas no laminado durante o processo de laminação manual, que faz com que tenha interferência na resistência mecânica do material; o deslizamento das garras ao longo das amostras pela falta do uso de um extensômetro durante o ensaio mecânico de tração, pois ocasiona numa imprecisão dos dados, visto que a máquina não mede o real alongamento do corpo de prova; a temperatura ambiente também pode influenciar no módulo de elasticidade, pois a tendência é que o valor diminui em temperaturas mais elevadas.

## Referências

AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J. *Analysis and performance of fiber composites*. New York: Wiley Interscience, 1990.

AL-QURESHI, H. A. *Materiais compostos: análises e fabricação*. Apostila, Centro de Engenharias da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2010. Disponível em: [http://www.bu.ufsc.br/design/Materiais\\_Compostos.pdf](http://www.bu.ufsc.br/design/Materiais_Compostos.pdf). Acesso em: 28 set. 2022.

**AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** *D 3039: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.* West Conshohocken: Astm International, 2014. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D3039>. Acesso em: 28 set. 2022.

**BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C.** *Estatística para cursos de engenharia e informática.* 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

**CALLISTER JÚNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G.** *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.* 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

**GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. D.** *Ensaaios dos materiais.* 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

**GREENE, E.** *Marine composites.* 2. ed. Annapolis: Eric Greene Associates, 1999.

**KAW, A. K.** *Mechanics of composite materials.* 2. ed. Florida: CLC Press LLC, 2006.

**MARINUCCI, G.** *Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia.* São Paulo: Artliber, 2011.

**MAZUMDAR, S. K.** *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering.* Florida: Crc Press Llc, 2002.

**NASSEH, J.** *Barcos: métodos avançados de construção em composites.* Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2007.

**NASSEH, J.** *Manual de construção de barcos.* 4. ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2011.

**NASSEH, J.** *Técnica e prática de laminação em composites.* Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2008.

**TEIXEIRA, L. G. M.** *Caracterização das propriedades mecânicas de um compósito fabricado com resina poliéster e fibra de vidro.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2021.