

# ESTUDO DE MATERIAL COMPÓSITO DE FIBRA METÁLICA COM MATERIAL LIGANTE POLIMÉRICO

*Cristian Paiva Braganholo<sup>1</sup>*

*Edson Roberto da Silva<sup>2</sup>*

## RESUMO

Os materiais compósitos são aqueles que incorporam dois ou mais materiais distintos em fases diferentes que são dispostos em matriz e fibras (reforço), procurando associar propriedades desses materiais, podendo ser elas químicas e físicas. O objetivo deste trabalho é confeccionar e estudar um material compósito com fibra metálica e revestimento polimérico, e averiguar se a variação dos materiais da fibra e os tipos de resinas utilizadas influenciam no limite de resistência à tração do compósito confeccionado. Para isso, o arame de aço recozido e o fio de cobre foram dispostos de forma contínua reta e trançada, verificando a impossibilidade do uso da disposição contínua reta devido à falta de aderência da resina nessa disposição. Com isso, dois corpos de cada material trançado recebeu o revestimento de resina a base epóxi e outros dois corpos de prova o revestimento da resina de poliéster, realizado posteriormente o ensaio de tração em cada um deles, observando que os materiais da fibra influenciam na resistência à tração do compósito, porém a aplicação das resinas não influenciou na resistência à tração do compósito.

**Palavras-chave:** Arame. Cobre. Isofáltica. Resistência à Tração. Resina.

---

<sup>1</sup> Aluno de Graduação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2016. E-mail: cristianpb7@hotmail.com.

<sup>2</sup> Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2016. E-mail: edsonroberto@unirv.edu.br.

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o avanço acelerado de determinadas tecnologias em algumas áreas das engenharias, fez-se cada vez mais necessário a utilização de materiais que possuam um somatório de propriedades no mesmo composto que dificilmente são obtidas com apenas um elemento químico base (exemplo ferro) e suas variedades de elementos de liga (exemplo carbono, molibdênio, cromo, entre outros), ou ainda com suas possibilidades de tratamentos térmicos.

Com isso, o uso dos materiais compósitos se faz cada vez mais necessário para obter tal somatório, pois o mesmo é constituído de dois ou mais materiais distintos que estão em fases diferentes e que possuem propriedades diferentes.

Levy Neto e Pardini (2006), definem compósitos como sendo a combinação de pelo menos dois materiais distintos que estão em fases diferentes designados de matriz e reforço (fibra), que possa ser perceptível a olho nu, associando suas propriedades químicas (por exemplo resistência à corrosão), e propriedades físicas (como alta resistência mecânica combinada com baixo peso devido à diminuição da massa específica do conjunto).

Os materiais compósitos podem ser obtidos através da associação de metais, cerâmicas e polímeros. As prováveis ligações entre os materiais são limitadas pelas condições de produção do compósito e as possíveis incompatibilidades entre os seus materiais constituintes (SILVA, 2003).

Em relação à avaliação das propriedades dos materiais compósitos, leva-se em consideração a complexidade da interação entre a matriz e a fibra. As propriedades mecânicas que mais são estudadas e de maior importância são: resistência à flexão, à tração, à fadiga, ao impacto, à abrasão, à compressão, módulo de elasticidade em tração e flexão, dureza e tenacidade à fratura (SILVA, 2003).

É possível adquirir, através do ensaio de tração, o valor de resistência à tração uniaxial, o módulo de elasticidade do material (através da razão entre a tensão e a deformação do corpo de prova dentro do regime elástico do material, onde sua deformação é completamente reversível e na mesma proporção à tensão), o coeficiente de Poisson (pela razão negativa entre a deformação transversal e a equivalente deformação longitudinal de um

corpo submetido a tração uniaxial inferior ao limite de proporcionalidade do material) (SILVA, 2003).

A fase fibra possui três classificações distintas, são elas: whiskers, fibras e arames. Os whiskers são monocristais de diâmetro muito pequeno que possuem uma razão comprimento/diâmetro extremamente elevada. Como consequência de suas dimensões extremamente pequenas, eles possuem elevado grau de perfeição cristalina e são teoricamente livres de defeitos, o que lhes proporciona resistência mecânica elevada; são os materiais com maior resistência conhecidos. Devido ao seu alto custo, os whiskers não são utilizados extensivamente como meio de reforço, e também é frequentemente impraticável utilizá-los como matriz. Geralmente os materiais dos whiskers incluem grafite, carbeto de silício, nitreto de silício e óxido de alumínio. Os materiais que são denominados como fibra podem ser tanto policristalinos quanto amorfos e são dispostos em diâmetros pequenos, os materiais que são utilizados nas fibras são os cerâmicos ou polímeros. Já os arames, considerados finos, têm o diâmetro relativamente grande se comparados com os whiskers e as fibras, os materiais comumente utilizados são o aço, o molibdênio e o tungstênio (CALLISTER, 2006).

As fibras utilizadas neste trabalho são compostas de aço recozido em forma de arame e fio de cobre eletrolítico rígido, ambos são obtidos pelo processo de trefilação. Chama-se arame de aço recozido devido ao tratamento térmico aplicado a ele depois de ser trefilado pelas fieiras da máquina de trefilação, pois sua microestrutura se encontra encruada, devido à redução do seu diâmetro durante o processo realizado a frio elevando sua dureza, que em muitos casos não é a propriedade esperada para esse produto, o mesmo acontece com o fio de cobre eletrolítico, e as matrizes dos corpos de prova são compostas por polímeros a base epóxi e poliéster. Mano e Mendes (1999) descrevem polímeros como sendo macromoléculas definidas por seu tamanho, estrutura química e interações intramoleculares e intermoleculares. Dispõem de unidades químicas que são ligadas através de covalências, repetidas regularmente ao longo da cadeia, denominadas meros.

No estudo realizado neste trabalho foi adotado o ensaio de tração para avaliar qual o melhor meio ligante, dentre os que foram selecionados, que contribuem para melhorar a resistência à tração do compósito, e qual o material das fibras que possuem maior influência nessa propriedade, foram utilizados métodos estatísticos para verificar a influência em cada um dos casos.

O objetivo principal deste trabalho é confeccionar e estudar um novo material

compósito formado por fibra metálica e matriz polimérica sintética. Como objetivos específicos o trabalho consiste em dispor fibras metálicas de cobre e de aço de diferentes maneiras, e cobri-las com resina poliéster isofitálica e epóxi, verificando a influência do material das fibras combinado com os revestimentos em resinas no limite de resistência a tração dos materiais compósitos formados

## 1.1 CARACTERÍSTICAS DOS POLÍMEROS

Para melhor entender a dinâmica envolvida na confecção de um material compósito, foram abordados separadamente os materiais constituintes da matriz, neste caso, os polímeros. Também foi retratado um pouco sobre os materiais das fibras que foram utilizadas, que é o arame de aço recozido, comumente utilizado em construção civil, e sobre o cobre eletrolítico muitas vezes usado em instalações elétricas, além de mostrar as possíveis disposições das fibras dentro da matriz e a interação matriz/fibra.

A palavra polímero vem do Grego e é separada em “poly”, que significa muitas, e “mer”, que significa partes, esse termo foi criado por Berzelius em 1832, para indicar compostos de pesos moleculares múltiplos. Sabe-se que todos os polímeros são macromoléculas, porém nem todas as macromoléculas são polímeros. Na maioria dos polímeros industrializados, o peso molecular situa-se entre 10.000 e 1.000.000, boa parte deles é considerada material de engenharia. Todos os polímeros demonstram segmentos moleculares longos, dos quais proporcionam enlaçamentos e emaranhamentos, alterando o volume livre que é o espaço vazio entre as cadeias (MANO e MENDES, 1999).

As resinas são materiais solúveis e fusíveis, com peso molecular de nível médio a alto, que tendem a amolecer gradativamente através de um determinado aquecimento e não são solúveis em água, no entanto podem ser dissolvidos com alguns solventes orgânicos. Este termo também é utilizado para nomear os polímeros sintéticos que apresentam o mesmo comportamento ao serem aquecidos (MANO e MENDES, 1999).

Os polímeros podem ser classificados de acordo com seu comportamento mecânico quando submetidos a temperaturas elevadas, e são subdivididos entre termoplásticos e termofixos. Os materiais termoplásticos são relativamente mais macios, quando sua temperatura é elevada, eles tendem a amolecer e, ao serem resfriados, os mesmos endurecem. Esse processo pode ser feito por diversas vezes, pois se trata de um processo reversível, sua

degradação permanente acontece quando a temperatura do material fundido é elevada de forma excessiva. Esses materiais são fabricados através de aplicação simultânea de calor e pressão. Já os polímeros termofixos são polímeros em rede. Os polímeros classificados dessa forma endurecem permanentemente durante a sua formação e posteriormente não amolecem quando submetidos a certos níveis de aquecimento. Realizando os tratamentos térmicos, as ligações covalentes cruzadas prendem as cadeias umas nas outras para resistir aos movimentos de vibração e rotação quando submetidos a elevadas temperaturas, somente quando levados a temperaturas excessivas causará o rompimento das ligações cruzadas. Os polímeros termofixos geralmente possuem dureza, resistência e estabilidade dimensional maior quando comparados aos polímeros termoplásticos. As borrachas vulcanizadas, os epóxis, as resinas fenólicas e algumas resinas poliéster, são em sua maioria termofixos (CALLISTER, 2006).

O processo de síntese de grandes moléculas, através de um grande número de agrupamento de monômeros gerando longas cadeias compostas por unidades repetidas, é chamado de polimerização. As reações pelas quais se inicia o processo de polimerização podem ocorrer de duas maneiras, que é através do processo de adição ou por condensação (CALLISTER, 2006). Neste trabalho foram abordadas as resinas epóxi e poliéster, que sofrem o processo de polimerização por adição.

Na polimerização por adição, as moléculas começam seus pontos de reação através da ruptura de duplas ligações e formação de duas ligações simples ( $\pi$ ). Com isso, a reação de polimerização acontece sem a formação de subprodutos. O princípio necessário para que ocorra a polimerização por adição é existir, ao menos, uma ligação dupla no monômero. A polimerização por adição não acontece simplesmente colocando os monômeros próximos uns dos outros, essa reação deve ser acelerada através de incidência de calor, luz, pressão ou um catalizador (VAN VLACK, 1964).

Os materiais a base epóxi e poliéster possuem excelentes combinações de resistência mecânica e resistência à corrosão. São dimensionalmente estáveis, possuem boa adesão e são relativamente baratos se comparados com outras matérias poliméricas. São aplicados basicamente em moldes elétricos, ralos, adesivos, revestimentos protetores e laminados de fibra de vidro (CALLISTER, 2006).

## 1.2 FIBRAS UTILIZADAS EM COMPÓSITOS

As fibras metálicas são comumente utilizadas em construções civis, onde a matriz é composta por concreto e o material das fibras é o aço, e são utilizadas com o intuito de dificultar a propagação de fissuras pelo fato de possuírem alto módulo de elasticidade. Já o concreto é um material frágil que, por sua vez, é suscetível a concentrar tensões a partir do surgimento e propagação de uma fissura quando a tensão submetida a ele é aumentada. As fibras são descontínuas e dispostas aleatoriamente dentro da matriz de concreto, com isso o concreto combinado com a fibra de aço deixa de ter um comportamento frágil, pois a fibra serve como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, diminuindo os pontos de concentração de tensões por toda a matriz. As fibras metálicas nesse caso são confeccionadas a partir de rejeitos do processo de fabricação de lã de aço, e possuem por volta de 1,5 cm de comprimento (FIGUEIREDO, 2000).

O cobre eletrolítico, como o próprio nome já diz, é adquirido através do processo de eletrolise do sulfato de cobre misturado à água, no qual são instalados dois eletrodos nas extremidades de um reservatório que contenha essa mistura, um deles energizado com polo positivo de uma fonte de corrente contínua devidamente e dimensionada para realizar este trabalho, e o outro eletrodo com o polo negativo dessa mesma fonte, separando o cobre do enxofre, resultando em um pó de cobre com alto grau de pureza, esse pó é levado para o processo de fundição, sendo então vazado em moldes para adquirir os formatos desejados, inclusive barras redondas que são usados no processo de trefilação para fazer fios de cobre.

As fibras de carbonos são adquiridas através do processo de pirólise de compostos ricos em carbono, e o mesmo toma a sua forma de fibra por meio de tratamentos térmicos que tem como resultado produtos carbonizados com elevados teores de carbono, produzindo assim, filamentos de resistência mecânica elevada muito utilizados em equipamentos de alta tecnologia, como é o caso de propulsores de naves espaciais (SILVA, 2005). Essas fibras são usadas em larga escala na confecção de compósito com o intuito de serem aplicados em componentes de aeronaves e também em equipamentos esportivos, pois possuem propriedades mecânicas excepcionais como alta rigidez, resistência mecânica e satisfatórios níveis de condutividade térmica e elétrica (RODRIGUES, 2013). A resistência à ruptura foi obtida através do ensaio de tração da fibra de carbono tecida combinada com a resina epóxi ARAZIN 4.9#00 é de 464 MPa, de forma experimental (CAPELA et al., 2012).

As fibras de vidro são filamentos de diâmetro pequeno de vidro. Atualmente são encontrados vários tipos de vidro, como a sílica, o exinitrito e o fosfato, sendo que a sílica é a

mais utilizada na produção de compósitos. A fibra de vidro mais usada na atualidade é do tipo E (E-Glass), que é obtida através da mistura de óxidos de Al, Mg, B, Si, e Ca. No entanto, as fibras do tipo S, que são formadas basicamente por dióxido de silício, óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) e óxido de magnésio, possuem resistência mecânica elevada se comparadas com a do tipo E (KEMERICH et al., 2013). A fibra de vidro tecida quando combinada com a resina epóxi ARAZIN 4.9#00 resistências de ruptura de aproximadamente 186,6 MPa, valor este que foi adquirido de forma experimental (CAPELA et al., 2012).

As fibras vegetais se encaixam na categoria de fibras naturais, podendo ser diferenciadas através de sua localização na anatomia estrutural da planta, como: fibras das folhas, fibras do caule e fibra dos frutos. Em países de primeiro mundo, além de se usar o produto da agricultura como alimento, são utilizadas também partes da planta como matéria prima para uso em componentes mecânicos industriais. Alguns exemplos de fibras vegetais são as fibras de coco, açaí, linho, juta, kenaf, sisal, bananeira, buriti, entre vários outros exemplos. A motivação para usar fibras vegetais ao invés de fibras sintéticas, é a relação resistência mecânica/unidade de peso. Assim, ao optar por uma fibra vegetal, o resultado seria um componente com peso relativamente reduzido, que é de grande interesse das indústrias automotivas (SANTOS, 2010). Em estudos feitos recentemente, pode-se verificar, através de ensaios de tração, que a resistência à ruptura da fibra de bananeira trançada de forma artesanal é em média 5,06 MPa, e a fibra de buriti trançada da mesma forma possui em média uma resistência à ruptura de 40,44 MPa, valores esses apenas da fibra, sem nenhum material ligante (BORGES E PEREIRA, 2016).

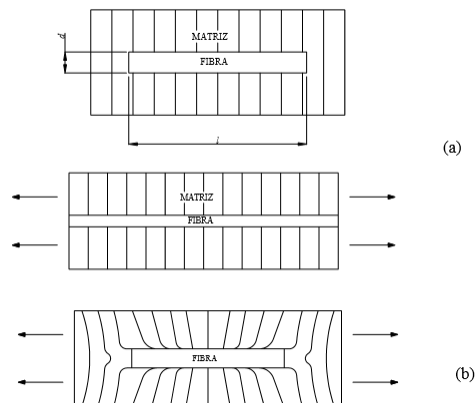
Basicamente, esses são os principais materiais usados e estudados atualmente pelas instituições de ensino e indústrias de aeronaves e automóveis, visando o avanço tecnológico através da utilização de materiais de alta eficiência e resistência mecânica, com menor peso.

### 1.3 INTERAÇÃO MATRIZ/FIBRA

A predisposição de esforço da fase fibra está diretamente relacionada ao grau de transferência das tensões aplicadas na matriz para a fibra, que é definida pelas características das fibras, que são: resistência ao cisalhamento, forma da textura, comprimento absoluto, estrutura das fibras, resistência à tração e alongamento, relação de espectro (Largura/diâmetro), fluência, relação Poisson e o Módulo de deformação (GOMES, 2005).

As fibras podem ser dispostas de duas maneiras na matriz, podendo ser contínuas e descontínuas. Pelo fato da fibra possuir uma função estrutural, as duas formas têm por principal função sustentar os esforços providos pela matriz. Entretanto, com particularidades diferentes, que interferem na performance mecânica dos compósitos, conforme pode ser visto na FIGURA 1. As propriedades mecânicas do compósito não estão ligadas somente às propriedades da fibra, mas também na maneira em que a carga é imposta sobre as fibras pela matriz. Este processo de transferência de carga que pode ser visto na FIGURA 1, está diretamente relacionado com o comprimento da fibra, e com a interação interfacial entre matriz e fibra (SILVA, 2005).

**FIGURA 1 - Linhas de tensão da matriz sobre a fibra**



Fonte: Márcio Marques da Silva (2005)

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Abaixo serão descritos quais os materiais utilizados para o estudo realizado neste trabalho, e qual foi a metodologia adotada para atingir os objetivos propostos.

### 2.1 MATERIAIS

Foram utilizados para a confecção dos corpos de prova o arame de aço baixo carbono (0,10% a 0,25%), recozido número 18 comercial (diâmetro de 1,24 milímetros), fios de cobre rígido (cobre eletrolítico) com diâmetro de 1,5 milímetros, geralmente usados como



condutores elétricos. Como material ligante foram utilizadas as resinas a base epóxi Araldite® Hobby e resina de poliéster isoftálica, com seus respectivos catalizadores. Os equipamentos de medição de proporção foram um copo graduado de volume, um conta-gotas (ambos utilizados para o ligante isoftálico). Para o ligante a base epóxi não foi necessário a utilização de equipamentos de medição, pois o mesmo possuía apenas duas bisnagas com a mesma quantidade de endurecedor e de resina. Os equipamentos de proteção individual foram: máscara facial com uma camada de carvão ativado, luvas látex e filme plástico. Como ferramenta foi utilizado alicate universal, a máquina de ensaio de tração que se encontra no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde – UniRV, cuja a marca é a Oswaldo Filizola e seu modelo o BME-20KN e um micro computador com o programa de interface do equipamento de ensaio.

## 2.2 MÉTODOS

Primeiramente foi estabelecido que cada fibra deveria ter um comprimento mínimo de 300 milímetros, também foi determinado que cada corpo de prova conteria três fibras e, por fim, foi estabelecida a organização das fibras de forma contínua trançada, não sendo usada a organização contínua reta da fibra devido a testes realizados previamente, nos quais não foi possível obter o valor do limite de resistência a tração do material compósito de forma conclusiva, pois ao realizar este ensaio, o material ligante se rompia antes que a fibra e era puxado sem que a fibra rompesse até se separar totalmente da fibra. A partir desse ponto, deu-se início ao procedimento de corte das fibras de arame de aço recozido e do fio de cobre de acordo com o que foi pré-estabelecido, com o auxílio do alicate universal.

Posteriormente, foi realizado o procedimento de trançamento manual das fibras, para isso foi necessária uma base reta, onde ambos os materiais eram fixados. Após esse procedimento, todos os materiais trançados foram submetidos a uma pré carga de tração com aproximadamente 200 Newtons na máquina de ensaio para eliminar os espaços vazios entre as fibras, que são consequência do procedimento de trançamento manual das fibras de arame recozido (Figura 2A) e da fibra de cobre (Figura 2B).

**FIGURA 2** - Fibra de arame de aço recozido (A) e fibra de cobre eletrolítico (B)



Fonte: Próprio autor, 2016.

Depois, foram preparadas as resinas usadas como material ligante, no caso da resina isoftálica poliéster o fabricante recomenda que a proporção correta seja de 1% em massa/peso (normalmente usa-se aproximadamente 35 gotas de catalizador para cada 100 ml de resina) do catalizador butanox. No caso desse trabalho, foi utilizada uma quantidade menor de catalizador que a indicada pelo fabricante para ter um tempo maior na aplicação da mistura sobre a fibra, pois verificou-se que, ao utilizar a proporção indicada pelo fabricante, a cura da mistura acontecia em velocidade elevada, acontecendo muitas vezes a perda de parte da resina e formação de bolhas por todo o corpo do material acabado, então foi utilizada a proporção de 30 gotas do mesmo catalizador para 100 ml de resina, sendo possível a utilização total da mistura na adesão dos corpos de prova sem formar bolhas. O tempo de cura usado para esse caso foi de 36 horas após a aplicação nas fibras para garantir a cura total do polímero, devido a diminuição na quantidade de catalizador empregado e para um melhor controle dos resultados obtidos, o procedimento foi realizado em temperatura ambiente e pressão atmosférica. No caso da resina epóxi, o fabricante recomenda que a mistura catalizador/resina contenha 50% de catalizador e 50% de resina, sendo essa a proporção utilizada para este trabalho. O processo de adesão das resinas nas fibras foi realizado de forma manual com o auxílio de luvas látex, sendo que dois corpos dos materiais usados foram impregnados com a resina poliéster e dois corpos de cada material foram impregnados com a resina epóxi.

Após o tempo de cura do material ligante, foram realizados os ensaios de tração em todos os seis corpos obtidos, sendo que dois corpos de prova de cada material de fibra ficaram sem serem impregnados pelas resinas para poderem ser tracionados e terem seus valores

comparados com os resultados obtidos dos ensaios realizados nos materiais que receberam os tratamentos das resinas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar a Tabela 1, é possível verificar que as resinas exerceram pouca influência no limite de resistência à tração dos materiais compósitos produzidos. No entanto, é notório que a diferença entre os materiais das fibras possui maior influência sobre o limite de resistência à tração dos compósitos, pois os valores obtidos dos materiais compósitos que possuíam a fibra de aço se sobrepunham à aqueles que possuíam a fibra de cobre. Para melhor verificar essas influências, foi usada uma análise de variância (ANOVA) para verificar qual dos fatores influenciam no limite de resistência à tração dos materiais apresentados.

Para poder executar a ANOVA, os fatores verificados foram divididos em dois parâmetros, o tipo de material utilizado como fibra (fator A), e o tipo de resina empregada como material ligante (fator B).

Com isso, foram levantadas as seguintes hipóteses:

- $H_{0A}$ : o material da fibra não influencia no limite de resistência a tração do compósito;
- $H_{1A}$ : o material da fibra influencia no limite de resistência a tração do compósito;
- $H_{0B}$ : o tipo de resina não influencia no limite de resistência a tração do compósito;
- $H_{1B}$ : o tipo de resina influencia no limite de resistência a tração do compósito;
- $H_{0AB}$ : a interação entre o material da fibra e o tipo de resina não influenciam no limite de resistência a tração do compósito;
- $H_{1AB}$ : a interação entre o material da fibra e tipo de resina influenciam no limite de resistência a tração do compósito.

**TABELA 1** – Limite de resistência à tração em Mega Pascal (MPa) dos corpos de prova confeccionados

		Tratamentos						Soma
		Sem tratamento		Res. Isoftalica		Res. Epóxi		
Fibras	Aço	98,06	95,13	107,17	104,01	105,98	104,99	615,34
	Cobre	78,99	71,92	73,18	62,12	72,00	76,66	434,87
Soma		344,1		346,48		359,63		1050,21

Fonte: Próprio autor, 2016.

Soma quadrática com base nos dados da Tabela 1.

$$SQ_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SQ_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} = \left( 98,06^2 + 95,13^2 + 107,17^2 + 104,01^2 + 105,98^2 + 104,99^2 + \right. \\ \left. 78,99 + 71,92^2 + 73,98^2 + 62,12^2 + 72,00^2 + 76,66^2 \right) - \frac{1050,21^2}{2 \cdot 3 \cdot 2}$$

$$SQ_T = 2998,74$$

As somas quadrática para os efeitos principais são:

$$SQ_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i..}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SQ_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i..}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn} = \frac{615,34^2 + 434,87^2}{3 \cdot 2} - \frac{1050,21^2}{2 \cdot 3 \cdot 2}$$

$$SQ_A = 2714,12$$

$$SQ_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SQ_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn} = \frac{344,1^2 + 346,48^2 + 359,63^2}{2 \cdot 2} - \frac{1050,21^2}{2 \cdot 3 \cdot 2}$$

$$SQ_B = 34,9806$$

As somas quadrática para os efeitos combinados (interação) são:

$$SQ_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - SQ_A - SQ_B$$

$$SQ_{AB} = \left\{ \left[ \begin{aligned} &(98,06 + 95,13)^2 + (107,17 + 104,01)^2 + (105,98 + 104,99)^2 + \\ &(78,99 + 71,92)^2 + (73,18 + 62,12)^2 + (72,00 + 76,66)^2 \end{aligned} \right] / 2 \right\} - \frac{1050,21^2}{2 \cdot 3 \cdot 2} - 2714,12 - 34,9806$$

$$SQ_{AB} = 142,8572$$

As somas quadrática do erro:

$$SQ_E = SQ_T - (SQ_{AB} + SQ_A + SQ_B)$$

$$SQ_E = 2998,74 - (142,86 + 2714,12 + 34,98)$$

$$SQ_E = 106,78$$

O procedimento completo de análise de variância em um estudo fatorial com dois fatores pode ser verificado na Tabela 2.

**TABELA 2** - Tabela da análise de variância para o modelo de efeitos fixos com dois critérios de classificação

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>0</sub>
Tratamento A	$SQ_A$	$a - 1$	$MQ_A = \frac{SQ_A}{a - 1}$	$\frac{MQ_A}{MQ_E}$
Tratamento B	$SQ_B$	$b - 1$	$MQ_B = \frac{SQ_B}{b - 1}$	$\frac{MQ_B}{MQ_E}$
Interação A × B	$SQ_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MQ_{AB} = \frac{SQ_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{MQ_{AB}}{MQ_E}$
Erro	$SQ_E$	$ab(n - 1)$	$MQ_E = \frac{SQ_E}{ab(n - 1)}$	
Total	$SQ_T$	$abn - 1$		

Fonte: Fonseca e Martins (1989)

Para os casos de  $F_{0calc.}$  (calculado) ser maior que o  $F_{0tab.}$  (tabelado), a hipótese  $H_0$  é rejeitada.

Para chegar aos dados da Tabela 3, foram utilizados os dados da Tabela 1, através da análise de variância dos resultados do ensaio de limite de resistência à tração realizados em laboratório. Os valores de  $F_{0tab.}$  foram extraídos do livro de Fonseca e Martins (1989), com significância  $\alpha = 5\%$ , podendo ser verificado na Tabela 3.

**TABELA 3** - Valores calculados da análise de variância para o modelo de efeitos fixos com dois critérios classificatórios

Variável	SQ	Fi	MQ	F0cal	F0tab	A	Resultado
A	2714,12	1	2714,12	152,48	5,99	5%	Influencia
B	34,98	2	17,49	0,98	5,14	5%	Não Influencia
A × B	142,86	2	71,43	4,01	5,14	5%	Não Influencia
Erro	106,78	6	17,8	-	-	-	-
Total	2998,74	11	-	-	-	-	-

Fonte: Próprio autor, 2016.

Comparando os valores de  $F_{0tab.}$  com os valores de  $F_{0calc.}$  observa-se que para o fator A (material da fibra) o valor de  $F_{0tab}$  é menor que o valor de  $F_{0calc.}$ , podendo afirmar que para um

nível de significância de  $\alpha = 5\%$  a hipótese  $H_{0A}$  é rejeitada, chegando-se à conclusão que o material da fibra influencia no limite de resistência à tração, mesmo utilizando níveis de significância menores que  $\alpha=5\%$ . Se for levado em consideração que o valor do  $F_{0calc.}$  é muito superior ao valor de  $F_{tab.}$ , é possível afirmar que o fator A é o que tem maior influência sobre o limite de resistência à tração neste caso, isso pode ser explicado pelo fato do aço 1020 recozido possuir resistência à tração por volta de 390 MPa e o cobre eletrolítico aproximadamente 220 MPa, valores estes adquiridos em laboratórios com alto controle das variáveis e com materiais de excelente qualidade, sendo aqui utilizados apenas para comparação (CALLISTER, 2006), sendo confirmado na Tabela 1.

Analisando o fator B (tipo de Resina), o valor de  $F_{0tab.}$  é maior que o valor de  $F_{0calc.}$  considerando um nível de significância de  $\alpha=5\%$ , e mesmo se fossem utilizados níveis de significância maiores que 5% nada seria alterado, o que rejeita totalmente a hipótese  $H_{1B}$ , chegando-se à conclusão de que as resinas aplicadas não influenciam no limite de resistência à tração do componente, este fato pode ser explicado devido à forte influência do material da fibra, mascarando a influência da resina ou ainda que as resinas utilizadas não são adequadas para os materiais de fibras utilizados.

Verificando a interação entre os fatores A e B (material da fibra e tipo de resina), o valor de  $F_{0tab}$  é maior que o valor de  $F_{0calc.}$ , portanto a hipótese  $H_{1AB}$  é rejeitada, para um nível de significância de  $\alpha=5\%$ , chegando-se à conclusão que a interação entre os fatores A (material da fibra) e B (tipo de resina) não influenciam no limite de resistência à tração do componente. Essa falta de influência se dá até mesmo para um nível de significância de  $\alpha=10\%$ , possivelmente este resultado pode ter ocorrido devido à baixa influência que a resina exerce sobre o material compósito e pela forte influência do material da fibra no mesmo.

O fator principal que pode ter influenciado nos resultados obtidos possivelmente está ligado à questão dos filamentos das fibras possuírem diâmetro relativamente alto quando comparado a outros materiais fibrosos, o que pode ter dificultado a ação da resina como material ligante, pois tanto os materiais de ligação, quanto os materiais das fibras, não trabalharam como se fossem um único material, mas atuaram separadamente, o que possivelmente não aconteceria se fossem utilizadas fibras com diâmetro menor. Neste caso, a utilização de ambas as resinas acrescentou ao arame recozido uma boa resistência à corrosão, pois o mesmo não possui tal propriedade, o que não explicaria o uso dessa resina na fibra de cobre, pois o cobre já possui esta propriedade (CALLISTER, 2006). Em se tratando de

acabamento, os tipos de resinas usadas proporcionam as fibras uma aparência de superfície lisa o que proporciona uma melhoria estética aos materiais produzidos.

## **4 CONCLUSÃO**

Através dos resultados adquiridos nos ensaios de tração e na análise estatística, e em resposta aos objetivos do trabalho, é possível chegar às seguintes conclusões:

- a) o material da fibra é a variável do processo que tem maior influência sobre o limite de resistência à tração do compósito estudado, tendo como o fio de cobre rígido o material que apresentou os níveis mais baixos de resistência;
- b) as resinas utilizadas não influenciaram no limite de resistência à tração do compósito produzido;
- c) a disposição da fibra mais indicada para ambos os materiais das fibras utilizadas foi a trançada;
- d) o fator combinado dos materiais da fibra com os tipos de resinas utilizadas não influenciaram na resistência à tração dos corpos de prova.

*STUDY OF METAL-FIBER COMPOSITE MATERIAL WITH POLYMER  
BINDER MATERIAL*

**ABSTRACT**

Composite materials are the ones that incorporate two or more distinct materials in different phases, that are disposed in matrix and fibers (reinforcement), aiming to associate these materials properties. These properties can be both chemical and physical. This article aims to fabricate and study a composite material with metal-fiber and polymer coating and ascertain if the variation of the fiber material and the types of used resin has an influence on the fabricated material's resistance limit. In order to do so, the annealed steel wire and the copper wire were arranged continuously straight and braided, verifying the impossibility of the use of the straight continuous disposal because of the lack of resin adhesion in this disposal. Thus, two bodies of each braided material received epoxy resin coating and the other two, polyester resin coating. After that, it was performed the traction trial, observing that the fiber materials have an influence on the tensile strength of the composite, but the resin application did not have an influence on the tensile strength of the composite.

**Keywords:** Wire. Copper. Isophthalic. Tensile Strength. Resin.



## REFERÊNCIAS

- BORGES, D. D. O; PEREIRA, W. A. **Comparação de resistência à ruptura entre a fibra de bananeira e a fibra de buriti**. CICURV, Rio Verde, Junho 2016. 1-5.
- CALLISTER, W. D. . **Ciência e engenharia dos materiais uma introdução 7ª ed.** – Utah: Editora LTC-GEN. 2006.
- CAPELA, M. C; SOUFEN, C. A; CORREIA, O. S; PINTÃO, C. A. F; IMAISUMI, M. **Propriedades mecânicas em laminados fibra de vidro e fibra de carbono em resina epóxi**. CBECIMAT, Joinville, Novembro 2012. 1-9.
- FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. 2000, 70p. Tese (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FONSECA, J. S; MARTINS, G. A; TOLEDO, G. L. **Estatística aplicada**. Rio de Janeiro: Atlas, 1989.
- GOMES, C. E. **Propriedades da Pasta de Cimento Portland com Adições de Copolímero Va/VeoVa e Fibras de Poliamida - Estudo de Interface Fibra-matriz**. 2005, 221p. Tese (Doutorado) – Área Interunidades em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- KEMERICH, P. D; PIOVESAN, M; BERTOLETTI, L. L; ALTMAYER, S; HOHMOVORPAGEL, T. **Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados** (Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental), v(10), nº 10, p. 2112-2121, 2013.
- LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais. Ciência e Tecnologia**. Ed. Edgard Blücher, 2006.
- MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a Polímeros. 2ª ed.** – São Paulo: Editora Blücher. 1999.
- RODRIGUES, C. E. **Estudo tolerância ao dano no compósito RTM de fibra de carbono NCF/resina epóxi CYCOM** 2013, 94p. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- SANTOS, S. S. N. **Análise experimental e Teórica do Comportamento Mecânico sob Carregamentos Quase-estáticos de Compósitos Reforçados com Fibras Vegetais**. 2010, 123p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SILVA, M. M. **Protótipo para uma plataforma de software de cálculos para otimização da trajetória de fibras em revestimento de materiais compósitos**. 2005, 102p. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretana derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003, 139p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade

de São Paulo, São Carlos.

VLACK, L. H.. **Princípios de Ciência dos Materiais 13ª ed.**. Editora: Edgard Blücher. 1964.