

ESTUDO PRELIMINAR DE REFORÇO DE MATERIAL POLIMÉRICO POR MEIO DE FIBRAS DE CARBONO

PRELIMINARY REINFORCEMENT STUDY OF POLYMERIC MATERIAL BY CARBON FIBERS

J. E. S. Lima¹, T. A. A. Assumpção², E. A. Azeredo³, T. L. Macedo³

Resumo: A fibra de carbono vem sendo aplicada como reforço de resinas e materiais poliméricos, resultando em compósitos de alto desempenho com a redução de peso, flexibilidade e resistência mecânica e a corrosão, necessárias a aplicações em diversos segmentos da indústria aeronáutica, automobilística, construção civil e metalúrgica em geral. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver um estudo preliminar na área dos compósitos, mais especificamente sobre resina epóxi (DGEBA) reforçada com fibra de carbono, para a verificação de uma possível substituição do mesmo com o uso de cabos de aço em elevadores para grandes edifícios. Utilizando-se um molde de acrílico, em laboratório, foram confeccionados corpos de prova, de compósitos com epóxi (DGEBA) e tecido de fibra de carbono com 2, 3, 4 e 5 camadas de reforço, bem como de epóxi puro, realizando ensaios de tração segundo a norma ASTM D3039, elaborando o comparativo de tensão de ruptura e deformação entre os materiais em questão e comparando as propriedades mecânicas. Nos dados obtidos foram observados que a interferência da quantidade de camadas do reforço de fibra carbono é o ganho notável resistência mecânica da resina, mantendo a densidade do compósito próxima da resina pura.

Palavras-chave: Compósitos. Reforço. Fibra de Carbono. Resina Epóxi. Cabo de aço.

Abstract: Carbon fiber has been applied as a reinforcement of resins and polymeric materials, resulting in high performance composites with weight reduction, flexibility and mechanical strength and corrosion, required for applications in various segments of the aeronautics industry, automotive, civil construction and Metallurgical industry in general. Thus, this work has the objective of developing a preliminary study in composites materials, more specifically on epoxy resin (DGEBA) reinforced with carbon fiber, for the verification of a possible replacement of the same with the use of steel cables in elevators for large Buildings. Using an acrylic mold, in the laboratory, specimens of epoxy composites (DGEBA) and carbon fiber fabric with 2, 3, 4 and 5 layers of reinforcement were made, as well as of pure epoxy, carrying out tests Of

tensile strength according to ASTM D3039, comparing tensile strength and deformation between the materials in question and comparing the mechanical properties. In the data obtained it was observed that the interference of the amount of carbon fiber reinforcement layers is the remarkable gain of mechanical strength of the resin, keeping the density of the composite close to the pure resin.

Keywords: Composite; Reinforcement; Carbon fiber; Epoxy resin; Steel cable.

I. INTRODUÇÃO

O intuito do trabalho em questão é desenvolver um estudo de reforço de material polimérico por meio de fibras de carbono para verificação das mudanças nas propriedades mecânicas. A união de materiais com naturezas diferentes, tais como, cerâmicos, poliméricos e metálicos, configura a formação de materiais que são chamados de compósitos, formados por uma matriz (material em maior quantidade) que por sua vez contém outros que não se misturam e com características diferentes (material em menor quantidade funcionando como reforço, por exemplo), que neste caso foram as fibras, com a finalidade de promover mudanças nas propriedades, principalmente as mecânicas no estudo em questão (CALLISTER, 2008).

A utilização das fibras para reforço tem sido uma das áreas mais pesquisadas pelos cientistas na busca por novas propriedades, assim como na possibilidade de utilização dos compósitos baseados em fibras em áreas que não se imaginava no passado, mas que hoje apresentam características muito superiores ao material puro. As áreas de aplicação são as mais diversas, desde as mais simples às mais avançadas, tais como reforços na construção civil de arcos para pontes de concreto (MALNATI, 2009) e nos reforço de vigas de concreto armado (BRENA, 2003), indústria aeroespacial (ZANATTA, 2012), para área militar como na blindagem balística nos coletes (SILVA, 2014), na indústria automobilística como no uso de envelopamento do carro (REZAEI, 2006), em entre outras. De forma geral o reforço com fibra tem como finalidade fornecer maior resistência mecânica ao material hospedeiro (matriz), além de outras vantagens como redução de peso, custo, isolamento ou ainda provocar mudanças nas propriedades elétricas, magnéticas e ópticas (CALLISTER, 2006).

Atualmente o uso de cabos de aço nos elevadores em arranha-céus tem se tornado um problema com relação ao seu peso, pois quanto maior a altura do prédio maior a quantidade

¹Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Centro Universitário ENIAC, Guarulhos, São Paulo, Brasil, E-mail: jose.salgueiro@eniac.edu.br

²Doutor em Ciências, Centro Universitário ENIAC, Guarulhos, São Paulo, Brasil, E-mail: thiago.alexandre@eniac.edu.br

³Alunos de graduação em Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário ENIAC, Guarulhos, São Paulo.

de cabos a serem utilizados implicando num maior peso de elevação, gerando maior esforço do motor, ou seja, além de elevar a cabine, também tem que dispende potência para elevar o peso dos cabos considerados um peso morto. Neste caso existe a possibilidade de substituí-los, por compósitos de fibra-polímero diminuindo drasticamente o peso e possibilitando edifícios mais altos que os atuais, pois é possível obter características mecânicas parecidas e/ou superiores ao cabo de aço com a combinação de dois compostos, no caso o polímero e a fibra (reforço).

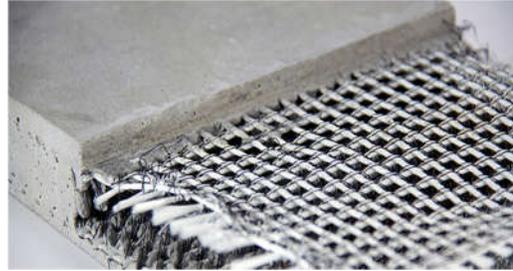
Com a realização dos ensaios de tração uniaxial tem-se por objetivo analisar os reforços aos materiais poliméricos e compará-los com usos como o de cabos de aço, por exemplo, com a pretensão de substituí-los, totalmente ou parcialmente, em algumas aplicações, no caso dos elevadores, conforme os esforços do motor para realizar a movimentação do elevador carregado, a corrente aumenta, elevando o consumo de energia, assim o compósito fibra-resina, sendo mais leve, acarretaria na redução de peso e conseqüentemente uma diminuição de consumo com gastos de energia (CIF, 2014).

Através das pesquisas bibliográficas e os ensaios de tração uniaxiais, obtém-se uma análise crítica, preliminar para o uso e aplicações possíveis dos compósitos de polímeros reforçados com fibra, na substituição dos cabos de aço. Entender e demonstrar as diversas aplicações de reforços poliméricos contribui na criatividade do uso de diversos compósitos em diversas áreas, ampliando a aplicação dos mesmos na obtenção de materiais mais leves e resistentes a impacto e temperatura, que ajudam acrescentando o conceito, definições e ferramentas para que se possa atender as necessidades do mercado e da sociedade, na resolução de problemas de engenharias, como no caso de cabos de aço de elevadores ou mesmo na construção civil.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

São chamados de compósitos a combinação de dois ou mais materiais insolúveis. Sua composição é constituída em várias fases, o que o torna um material multifásico, entretanto a maioria dos compósitos que existem apresentam somente duas fases, que apresentam características de ambas as fases que o compõe, buscando assim uma melhor combinação de propriedades, o que geralmente se obtém artificialmente. As duas fases que geralmente compõem os compósitos são a matriz, que pode ser polimérica, metálica ou cerâmica e a fase de reforço, que pode ser constituídas de fibras longas ou curtas em fios, mantas e tecidos, sendo que o envolvimento da matriz no reforço é a cerne da estrutura do compósito (CALLISTER, 2006). Na Figura 1, observa-se um compósito formado por uma matriz cerâmica, que neste caso é o concreto, e o reforço de fibra de carbono, fortalecendo assim o elemento estrutural.

Figura 1 – Concreto têxtil-concreto reforçado com fibra têxtil.

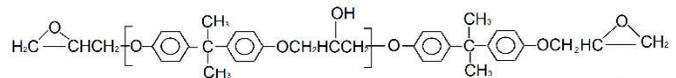


Fonte: SANTOS (2015).

A matriz polimérica é a fase contínua que envolve a outra fase. Geralmente são usadas resinas para a fabricação de compósitos poliméricos, sendo elas de dois tipos: termoplásticas e termorrígidas. As termoplásticas são mais limitadas pois quando imposta a altas temperaturas elas amolecem e/ou fundem devido o coeficiente de dilatação ser negativo, por se tratar de ligação não reticulada. No caso das termorrígidas, elas são estáveis a altas temperaturas devido a formação de ligações cruzadas no processo de cura, o que torna a formação do material irreversível (CALLISTER, 2002).

Uma das resinas mais utilizadas em compósitos reforçados com fibras é resina epóxi, basicamente a palavra epóxi origina da junção de dois termos (*ep* do grego de entre ou sobre e *oxi* do inglês oxigênio) que literalmente significa oxigênio entre carbonos que em termos gerais temos a ligação de um átomo de oxigênio com dois átomos de carbono (SILAEX, 2015), sendo um material do tipo termorrígido obtido a partir de um sistema líquido contendo um reagente de cura para formar um polímero sólido insolúvel e infusível em temperatura ambiente. Entre as resinas epóxi mais utilizada encontra-se a diglicidil éter do bisfenol-A (DGEBA), cuja a estrutura pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura química de uma resina epóxi diglicidil éter do bisfenol A (DGEBA).



Fonte: ELLIS (1993)

Segundo Pardini (2016), os maiores produtores mundiais de resinas epóxi atualmente são a Shell, a Dow Química e a Huntsman e respondem por aproximadamente 70% da produção mundial.

Normalmente são utilizados, para o processo de fabricação e modificação das características da resina polimérica, agentes que são incluídos na sua formação, tais

como aceleradores, diluentes solventes, plastificantes.

Segundo McAdams (1998), as resinas epóxi são muito versáteis e isso se deve a sua capacidade de reagir com vários tipos de substrato. Algumas das propriedades mais relevantes da resina epóxi são:

- ✓ Rápido processo de cura;
- ✓ Alta dureza;
- ✓ Baixa contração;
- ✓ Baixa exotermia;
- ✓ Boa resistência mecânica, entre outras.

Tais características resultam num leque de finalidades de acordo com o ambiente que o compósito será exposto, ou seja, podendo atuar em diversas áreas como medicina, aeroespacial (WILLIANS; TRASK; BOND, 2007), eletrônicos, alvenarias, entre outras, e principalmente na área de ortodontia (ALBUQUERQUE, 1998).

Segundo o fabricante Zoltek (2017), a principal matéria-prima das fibras de carbono (Figura 3) é o polímero de poliácilonitrila — um material obtido a partir da polimerização de uma variação do acrílico. A vantagem dessa fonte é a alta concentração de carbono, uma vez que mais de 90% dos átomos no material são justamente disso. Durante a produção, o polímero é esticado e se torna paralelo ao eixo das fibras, formando uma liga bem rígida e resistente.

Figura 3 – Tecido de fibra de carbono.



Fonte: REDELEASE (2017).

Por ser um material sintético é bastante utilizada em aeronaves, acessórios esportivos, painéis de carros, bicicletas entre outros, para reforçar suas estruturas com leveza e resistência termomecânica. (ZOLTEK, 2017).

III. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho, as informações relacionadas ao processo de fabricação de materiais compósitos foram obtidas a partir de levantamento bibliográfico com base em trabalhos encontrados em revistas científicas especializadas. De posse dessas informações, determinou-se que seria usada a norma da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) segundo a qual é uma organização de desenvolvimento de normas técnicas, considerada uma das maiores instituições no

seguimento. Suas publicações envolvem normas técnicas, especificações, métodos de testes, periódicos, livros eletrônicos, manuais, documentos de conferências, entre outros. A norma técnica da ASTM D3039 refere-se aos ensaios de tração utilizando compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra para determinação das propriedades dos compósitos feitos a partir da resina epóxi. O método projetado para o teste tem o intuito de gerar dados de propriedades de tensão assim podendo ser usado para especificação de materiais, pesquisa e desenvolvimento, garantia de qualidade e análise estrutural.

O tamanho do corpo de prova é de 150 mm de comprimento, 20 mm de largura e 3 mm de espessura, dentro das especificações da norma. Para isso foi construído um molde de acrílico seguindo as dimensões do corpo de prova, como mostrado na Figura 4.

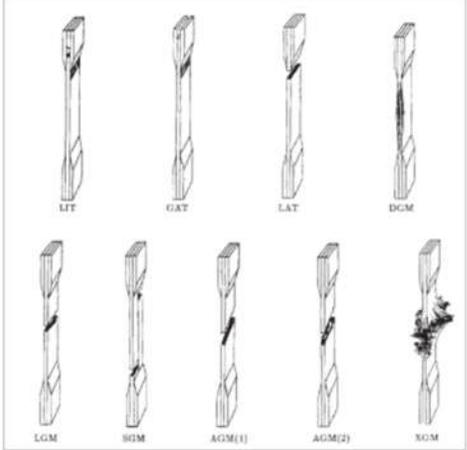
Figura 4 - Molde em acrílico.



Fonte: Autor.

Para produzir as amostras de compósitos poliméricos utilizou-se a resina epoxi SQ 2001 com endurecedor SQ 3154 e tecido de fibra de carbono 200 (0°/90° - biorientada), fornecidos pela empresa Redelease. Segundo o fabricante (SILAEX, 2015), a resina epoxi SQ 2001 é uma resina epoxídica líquida que é baseado na reação da Epicloridrina com Bisfenol A e com endurecedor SQ 3154 à base de poliamina cicloalifática apresenta facilidade no manuseio, boa aplicação na laminação, dificilmente sofre com umidade, além de não gerar subprodutos. De acordo com as propriedades do sistema não curado, o fabricante especifica que para o tempo de utilização máximo da mistura situa-se entre 20 a 30 minutos a uma temperatura entre 18 a 30°C, e que para a cura total é de 24 a 48 horas. A interpretação do tipo de ruptura provocado no corpo de prova, conforme a ASTM D3039, é feita através das características como tipo, área e local, como pode-se observar na Figura 5.

Figura 5 - Representação de alguns tipos e codificação de falhas a serem observadas nos ensaios de tração.



Tipo de falha	Código	Área da falha	Código	Local da falha	Código
Angular	A	Inferior da garra	I	Inferior	B
Delaminação na margem	D	Na garra	A	Superior	T
Garra	G	<1" de largura da garra	W	Esquerdo	L
Lateral	L	Parte útil	G	Direito	D
Multimodo	M (x y z)	Múltiplas áreas	M	Centro	M
Divisão longitudinal	S	Várias	V	Vários	V
Explosivo	X	Desconhecidos	U	Desconhecido	U
Outros	O				

Fonte: ASTM D3039 (2014).

Para a realização dos ensaios de tração foi utilizado a máquina de ensaio universal, aplicando a taxa de deformação de 2 mm/min.

Os dados obtidos nos ensaios de tração das cinco amostras utilizam o parâmetro da tensão de ruptura (σ_R), que é definida pela seguinte equação 1:

$$\sigma_R = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

De acordo com Callister (2002), é a relação entre F que é a representação da carga aplicada e A_0 que é a área de seção da objeto de estudo antes de ser aplicado a qualquer esforço, dado em MPa (Megapascal). Outro parâmetro utilizado é deformação de engenharia definida pela equação 2:

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} \quad (2)$$

Onde l_i é representado pelo comprimento final do corpo, ou seja, após sua deformação e l_0 é o comprimento inicial do corpo de prova (CALLISTER, 2002).

O processo de fabricação dos corpos de prova para esse experimento foi feito manualmente após realizar o corte de lâminas de fibra de carbono de acordo com as medidas do

molde. Conforme SILAEX (2015), a proporção para a mistura entre a resina e o endurecedor é de 100:50 em peso, respectivamente. Antes de começar o preparo dos compósitos reforçados com fibra, foi aplicado no molde uma fina camada de cera de desmoldante a base de carnaúba, usada para desmoldar as peças de compósito evitando assim que a mesma fique aderida ao molde de acrílico. Por se tratar de fabricação manual a partir da resina, deve-se ter o cuidado na mistura dos componentes realizando o procedimento com menor agitação possível, para evitar a incorporação de ar e a consequente formação de bolhas, pois quanto mais bolhas de ar forem geradas e as mesmas não saírem durante o processo de cura ficando presas no corpo de prova, mais defeitos internos o mesmo terá, tornando-se menos resistente. Ou seja, se numa seção interna houver muitas bolhas próximas, a área de contato do material será menor gerando um defeito macro, tendendo a ruptura naquela região durante o ensaio.

O procedimento de construção do corpo de prova se inicia com a aplicação de uma camada da mistura epóxi no fundo do molde e em seguida é posicionada a lâmina de fibra de carbono e depois colocado uma camada da mistura, assim alternando os elementos, compósito-fibra-compósito. Em cada corpo de prova, a primeira e última camada sempre será da resina. Após, o molde é comprimido com uma tampa de acrílico para evitar deformações na superfície e internamente, como bolhas, desnível, falhas, entre outros.

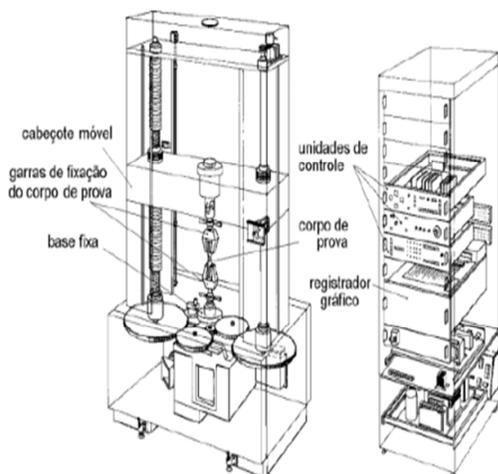
As estruturas dos corpos de prova foram confeccionadas com quantidades diferentes de tecido de fibra de carbono com a intenção de comparar reforço x resistência, gerando um gráfico demonstrativo com os resultados dos testes. Foram realizados ensaios com corpos de prova com resina epóxi puro (sem o reforço) e com 2, 3, 4 e 5 camadas, respectivamente.

Para determinar as propriedades mecânicas dos corpos de prova devido a interferência da quantidade de camadas de fibra de carbono, foram realizados testes de tração. Com os resultados obtidos, serão comparados com o teste realizado com a amostra apenas de epóxi puro, usando a norma ASTM D638 (para polímeros) e também com um cabo de aço de 1/16".

Com a realização dos testes do compósito polimérico, os dados resultantes comparados ao teste com o cabo de aço, possibilita examinar a probabilidade da substituição do cabo metálico por laminados a base de fibra de carbono revestidos de resina polimérica de acordo com a resistência obtida nesse reforço. Conforme Essel (2017), a máquina universal de ensaios (Figura 5) é o instrumento usado para a realização do ensaio de tração, que apresenta este nome devido aos mais variados tipos de ensaios que a mesmo executa, podendo ser tanto um equipamento hidráulico quanto eletromecânico. No ensaio de tração, a máquina aplica uma deformação constante no corpo de prova, na direção longitudinal em sentido oposto, fazendo o corpo de prova aumentar seu comprimento. A

medição da força de resistência a essa deformação é medida por um dinamômetro ou célula de carga que está ligada na máquina de tração e através do gráfico de força e alongamento gerado pelo registrador durante o ensaio, obtém-se a curva tensão por deformação, que permite a extração de parâmetros (CALLISTER, 2002).

Figura 6 – Máquina Universal de Ensaio de Tração.



Fonte: Essel (2017).

Fixa-se o corpo de prova na máquina por suas extremidades, numa posição que permite ao equipamento aplicar-lhe uma força axial para fora, de modo a aumentar seu comprimento.

As principais associações de normas técnicas fornecem as normas que descrevem o procedimento do ensaio, bem como requisitos mínimos de resistência mecânica e dureza para diversas classes de materiais. (FREDEL, 2015).

IV. RESULTADOS

As amostras dos corpos de prova foram confeccionadas no molde em acrílico mostrado na Figura 3, seguindo os padrões da norma ASTM, 150 mm de comprimento, 20 mm de largura e 3 mm de espessura, obtendo uma rigidez mecânica maior por conta da inserção da fibra de carbono juntamente com a resina epóxi. O resultado pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Corpos de prova de materiais compósitos.



Fonte: Autor.

Na Figura 8, pode-se observar os tipos de rupturas ocorridos e classificados de acordo com a norma ASTM nas 4 amostras, sendo classificados como bem sucedido de acordo com a norma.

A interpretação do tipo de ruptura provocado no corpo de prova, conforme a ASTM D3039, é feita através das características como tipo, área e local, como podemos ver na Figura 6.

Figura 8 – Rupturas nos corpos de prova com (A) 5 camadas; (B) 4 camadas; (C) 3 camadas e (D) 2 camadas.



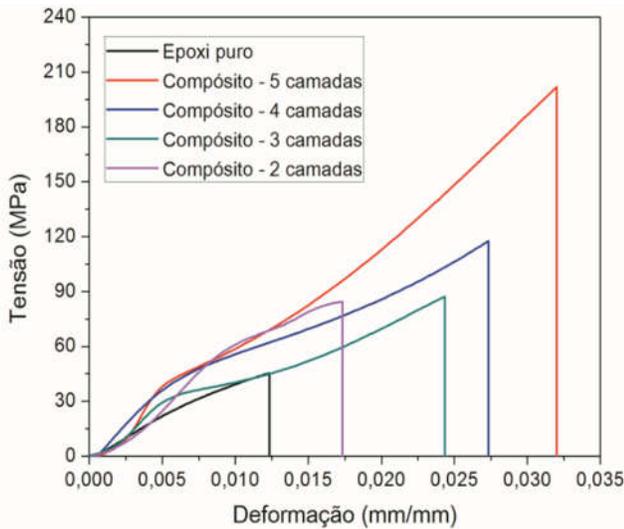
Fonte: Autor.

Na Figura 8(A), observa-se que para a amostra do compósito de 5 camadas, apresentou o tipo de ruptura lateral, sem angulação, a área se encontra na parte útil do corpo de prova e na parte inferior, seguindo a codificação de rupturas na Figura 8, código de ruptura é LGM. No compósito de 4 camadas, Figura 8(B), a ruptura apresentou ângulo e a localização ocorreu na parte inferior, determinando o código

de ruptura AGB. Na amostra de 3 camadas e 2 camadas, Figura 8(C) e 8(D), o código de ruptura foi AGM 2.

Na Figura 9, pode-se observar o gráfico, onde são apresentados os dados das 5 amostras ensaiadas no teste de tração com base nos parâmetros de tensão por deformação, verificando-se que quanto maior a quantidade de tecidos de fibra de carbono, maior é o ponto de ruptura do compósito.

Figura 9 - Comparativo Tensão (MPa) x Deformação (mm/mm).



Fonte: Autor.

Também é possível verificar que o reforço de fibra de carbono inibe o comportamento da matriz polimérica, no caso a resina epóxi, evitando que o compósito se rompa facilmente, por ser um material amorfo não é possível prever seu ponto de ruptura, pois o mesmo pode apresentar micro defeitos em sua extensão que não são perceptíveis aos olhos (CALLISTER, 2002), como podemos ver com relação a curva de Tensão (MPa) do epóxi puro e dos compósitos entre a Deformação (mm/mm).

Na Tabela 1, vemos como mais detalhes os resultados dos testes realizados, constatando o aumento da resistência do laminado, como podemos ver na coluna de tensão de ruptura, com o incremento de camadas de tecido de fibra de carbono chega-se suportar cerca de 200 MPa quando adicionadas 5

camadas de reforço, e apresentou densidade próxima do epóxi puro. Com base nas medidas e nos cálculos, comprovou que o polímero reforçado com fibra de carbono consegue alcançar uma alta resistência sem perder a leveza da fibra.

Outra característica apresentada na figura 8, é referente a deformação de engenharia, quanto maior quantidade de reforço de fibra (camadas de tecido) no compósito, maior será sua deformação, como pode-se observar na Tabela 1.

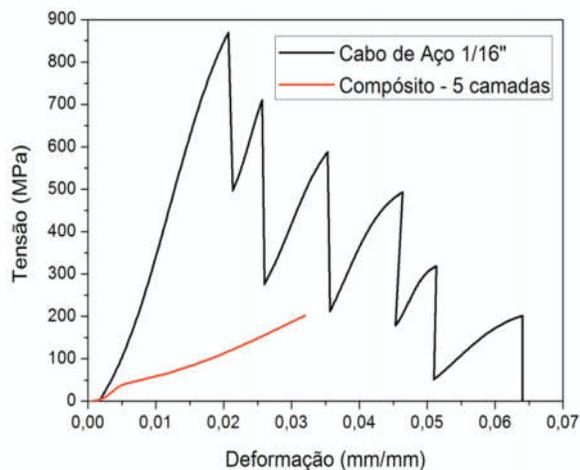
Como o objetivo do trabalho é verificar a viabilidade de substituição do cabo de aço pelo polímero reforçado com fibra, na figura 10, encontra-se o gráfico, onde tem-se a comparação do cabo de aço de 1/16" com o compósito de 5 camadas. Observa-se que a tensão de ruptura do cabo de aço alcança cerca de 850 MPa contra os 200 MPa para a amostra de material compósito.

Tabela 1 - Dados comparativos dos ensaios entre as amostras.

Amostra	Densidade Aparente (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (%)
Epóxi pura	1,16	4,91	50	12,3
Compósito - 2 camadas	1,16	8,13	85	17,4
Compósito - 3 camadas	1,20	8,13	89	24,3
Compósito - 4 camadas	1,24	8,72	116	27,2
Compósito - 5 camadas	1,29	13,34	200	32,0

Fonte: Autor.

Figura 10 – Curvas Tensão x Deformação comparando-se a mostra de compósito reforçado com 5 camadas e um cabo de aço 1/16"



Fonte: Autor.

Devido ao resultado obtido com o ensaio, percebe-se que pela quantidade de lâminas de tecido utilizados no corpo de prova tem-se duas opções para a possível substituição: uma seria produzir o corpo de prova com uma quantidade maior de lâminas de fibra de carbono aumentando sua resistência a ruptura, encontrando uma quantidade compatível; ou utilizar de 4 a 5 corpos de prova em paralelo pois assim a soma da sua resistência equivale ao cabo.

Os resultados com relação a densidade aparente dos compósitos demonstraram uma pequena variação entre cada amostra, entre 1,16 a 1,29 g/ml, assim comprovando que as lâminas de fibra de carbono não alteram o peso específico do polímero, de acordo com o fabricante Silaex é de 1,16 g/ml, mantendo praticamente a leveza da resina.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que as densidades das amostras com o reforço tiveram valores bem próximo da amostra de epóxi pura provando assim que adição de lâminas de tecido de fibra de carbono não provoca aumento aparente do peso específico do material, mantendo a característica de leveza. Observa-se também que o aumento das camadas de fibra ocasionou o aumento da tensão de ruptura, mostrando que o aumento de camadas aumenta a resistência do composto.

Com relação ao comparativo com o cabo de aço podemos afirmar que para o compósito de 5 camadas, para se aproxime da propriedade de tensão de ruptura do cabo é necessário acrescentar pelo menos 4 vezes mais o compósito para que obtenha a mesma resistência. Se aplicado na ideia inicial deste trabalho que seria na substituição de cabos de elevadores, teríamos que adicionar cerca de 5 vezes mais compósitos reforçados com fibra de carbono para cada cabo de aço, entretanto devido a resina epóxi utilizada apresentar uma certa rigidez mecânica, torna o compósito não flexível, inviabilizando o mesmo nessa substituição. Seria necessário

substituí-lo por uma resina que tenha em seu composto mais flexibilidade e maleabilidade. A ideia de possibilidade na substituição no uso de cabos de aço se deve a empresa finlandesa KONE que já utiliza esse princípio de cabos de polímero reforçado com fibra de carbono em algumas áreas de aplicações da empresa.

Concluindo, a aplicação no uso de cabos para elevadores seria inviável considerando a resina epóxi, pois o compósito não tem propriedade flexível como o cabo de aço, seria necessário substituir por uma resina com propriedade elastomérica e resistência equivalente. Entretanto também pode ser viável tratando-se da questão de massa e resistência da fibra, em razão de que mesmo utilizando uma quantidade maior de material em relação ao cabo de aço, torne-se resistente e eficaz, mas sensivelmente mais leve que o mesmo.

VI. AGRADECIMENTO

Agradecemos ao Centro Universitário ENIAC pelo apoio incondicional, financeiro e as bolsas de estudo custeadas pela instituição.

VII. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, R. C.; DUTRA, R. A.; VASCONCELLOS, W. A. Pinos intra-radulares de fibras de carbono em restaurações de dentes tratados endodonticamente. *Revista da Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas*, São Paulo, v. 52 (6), 1998, p. 441-444.

ASTM D638-14, **Método de Teste Padrão para Propriedades de Tração de Plásticos (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics)**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

ASTM D3039 / D3039M-1, **Método de Teste Padrão para Propriedades de Tração de matriz de polímero de Materiais Compósitos (Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials)**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2007.

BRENA, S. F. et. al. Increasing Flexural Capacity of Reinforced Concrete Beams Using Carbon Fiber-Reinforced Polymer Composites. *ACI Structural Journal*, v.100, p. 36-46, 2003. Disponível em: <www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstract

portal.aspx?m=details&ID=12437>. Acessado em 14 de março de 2017.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 5. ed. São Paulo: LTC., 2002.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma abordagem integrada**. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC., 2006.

CONSTRUCTION INNOVATION FORUM. 2014. Disponível em: <www.cif.org>. Acessado em 19 de abril de 2017.

ESSEL Eletromecânica. **Ensaio de materiais. Ensaio de tração: procedimentos normalizados**. Cursos Online. 2017. Disponível em <http://essel.com.br/cursos/material/01/ensaios.htm> Acessado em 10 de março de 2017.

FREDEL, M. C.; ORTEGA, P.; BASTOS, E. **Propriedades Mecânicas: Ensaio Fundamentais**. CERMAT. v. 1 , 2015. Núcleo de Pesquisas em Materiais Cerâmicos e Compósitos do Departamento de Eng. Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

KONE corporation. **KONE: high-rise solutions**. 2013. Disponível em: <http://www.kone.com>. Acessado em 23 de março de 2017.

MCADAMS, L. V.; GANNON, J. A. **Epoxy Resins. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**. p 322-382. Vol. 6, 1988. H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberg, e G. Menges, eds., Nova Iorque: Wiley Interscience, 1988.

PARDINI, L. C., **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 2ª.Ed, revista e ampliada. São Paulo: Blücher,2016

REDELEASE. **Loja Virtual**. Comércio de produtos para Indústria, 2017. Disponível em: <http://www.redelease.com.br/lojavirtual/>. Acessado em 24 de fevereiro de 2017.

REZAEI, F. **Development of short carbon fibre reinforced polypropylene composite for car bonnet**. 2006. Tese (Mestre em Ciência) - Universidade Putra Malaysia. Malásia, 2006.

SANTOS, Altair. **Concreto têxtil, o futuro do concreto armado**. Massa cinzenta. 2015. Disponível em:

<http://www.cimentoitambe.com.br/concreto-textil-concreto-armado/>. Acessado em 10 de março de 2017.

SILAEX QUÍMICA. **Epóxi**. 2015. Disponível em: <http://www.silaex.com.br/epoxi.htm> Acessado em 23 de fevereiro de 2017.

SILVA, L. C. **Comportamento balístico de compósitos epóxi - Fibra natural em blindagem multicamada**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.

MALNATI, P. **Bridge cost cut with inflatable arches**. Composites world. 2009. Disponível em: <http://www.compositesworld.com/articles/bridge-cost-cut-with-inflatable-arches>. Acessado em 13 de abril de 2017.

ZANATTA, R. **Materiais compósitos na aviação: Os materiais que prometem reduzir o peso e o consumo das aeronaves modernas**. 2012. Disponível em: <http://www.aviacao.org/article/materiais-compositos/>. Acessado em 13 de abril de 2017.

ZOLTEK™. **Commercial Carbon Fiber**. 2017. Disponível em : <http://zoltek.com/carbonfiber/> . Acessado em 14 de abril de 2017.