

APROVEITAMENTO DE APARAS DE COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO PULVERIZADAS POR PROCESSO MECÂNICO

L.H.N.Abreu¹, M.A.M. Souza²

1 - Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – “Prof. Jessen Vidal”
Avenida Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 – CEP: 12247-014 – São José dos Campos - SP
– Brasil

Telephone: (12) 3905-2423 – Email: leonardo_hna@hotmail.com

2 - Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA)
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias CEP 12228-901 - São José dos Campos
– SP – Brasil - Telefone: (12) 3947-3000

RESUMO: O presente trabalho avalia o comportamento das propriedades mecânicas de um compósito polimérico reforçado com fibra de vidro (PRFV) utilizando em sua manufatura a substituição de material de reforço virgem por material reciclado, obtido por meio de pulverização realizada em uma micro-retífica. A incorporação do material pulverizado foi realizada por mistura direta à matriz do compósito, resina poliéster. As propriedades mecânicas mostraram queda entre 20 e 30% na resistência à tração, para percentuais de uso de reciclado de 10 e 20% respectivamente, quando comparados com material 100% virgem.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades Mecânicas, Compósito Polimérico, Fibra de Vidro, Pulverização por moagem.

ABSTRACT: This study evaluated the mechanical behavior of a glass fiber reinforced polymer composite (GFRP), using in its manufacture the replacement of virgin reinforcing material for recycled material obtained by spraying carried out in a micro- rectifies . The incorporation of the powdered material is performed by directly mixing the composite matrix, polyester resin. The mechanical properties showed falls between 20 and 30 % of the tensile strength for recycled use percentages of 10 and 20 % respectively, when compared to Material 100 % virgin.

KEYWORDS: Mechanical Properties, Polymeric Composite, Glass Fiber, Spraying by Grinding.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

Segundo as estimativas da ABMACO (Associação Brasileira de Materiais Compósitos), o Brasil gera em torno de 18 mil toneladas de resíduos ao ano, deixando um prejuízo de R\$120 milhões de reais em descartes em aterros sanitários [1].

O grande desafio reside no fato que grande parte dos resíduos são compósitos com matriz polimérica termorrígida, o que os torna de difícil reciclagem. A principal intenção é reciclá-los sem perder sua resistência

mecânica, contudo seu uso pode ser direcionado para outros fins, que não os originais, para aplicações alternativas, nos quais haja esforços estruturais menos exigentes que as aplicações de origem [1].

Os materiais compósitos têm sido cada vez mais utilizados em plataformas de petróleo, embarcações, peças de aeronaves e foguetes, no qual se necessita obter uma resistência a corrosão elevada e uma baixa condutividade elétrica, tornando-se os materiais ideais para fabricação de plataformas marítimas, entre outros produtos.

De acordo com a Figura 1, grande parte da utilização, 49% do total utilizado vem

sendo feita pela construção civil. A utilização de compósitos pela construção civil gera uma grande quantidade de refugos de material, uma vez que, a fabricação se dá de maneira contínua e não com exatas dimensões de projetos, ou seja, perfis novos são recortados e os recortes são descartados [2].



Figura 1. Utilização de materiais compósitos em 2013 [1]

1.2. Reciclagem

A reciclagem é o resultado de diversas atividades, como coleta, separação e processamento, através das quais materiais aparentemente sem valor servem como matéria prima na manufatura de bens, anteriormente feitos com matéria prima virgem. Diversas vantagens são obtidas por meio da reciclagem, tais como, evitar a poluição do solo, das águas e do ar, além do reciclado custear parte ou o total da matéria-prima utilizada, reduzindo os custos de produção [3].

A moagem é a forma de reciclagem mais conhecida, e está baseada em um processo mecânico destinado a redução do tamanho dos resíduos sólidos, onde o processo ocorre por forma de impacto, atrito e compressão entre outros. O esquema apresentado na Figura 2, ilustra um processo de moagem, realizado por meio de um moinho de martelo.

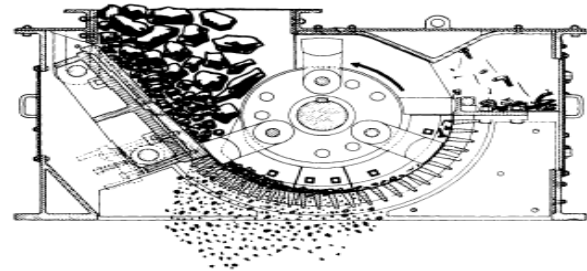


Figura 2. Moagem por meio da utilização de um moinho de martelo [3]

1.3. Materiais Compósitos

Os compósitos são formados a partir da união de dois materiais distintos, matriz e reforço. A união destes dois materiais forma um material que possui propriedades superiores quando comparados com as propriedades individuais da matriz e reforço.

O reforço tem como principal função resistir aos esforços aplicados, já a matriz, de unir ou aglutinar o material de reforço e de distribuir e transferir os esforços aplicados. Os reforços podem ser, por exemplo, fibras de vidro (FV), fibras de carbono (FC) ou aramida. A matriz pode ser de material cerâmico, metálico ou polimérico. As matrizes poliméricas mais utilizadas são as resinas epóxi e poliéster [4].

Diversos processos de moldagem podem ser aplicados aos compósitos, desde os mais simples, por impregnação e moldagem manual, até processos contínuos como pultrusão e moldagem sob altas temperaturas e pressões ocorridas em autoclaves.

O processo contínuo de pultrusão, mostrado na Figura 3a, é o empregado para a fabricação das eletrocalhas, Figura 3b, com a utilização de fibras de vidro (FV) contínuas como reforço e de resina poliéster como matriz [5].

1.4. Fibras de Vidro (FV)

A FV é composta por finíssimos fios de vidro agregados em conjunto com resinas, silicones ou fenóis. As fibras podem assumir diversas configurações, como por exemplo, ser longas (contínuas) ou curtas, como mostradas na Figura 4. As FV's são obtidas ainda em

estado líquido em temperaturas de até 1600°C, passado em finíssimos orifícios com o diâmetro final do fio com temperaturas controladas para fazer a cura da fibra [6].

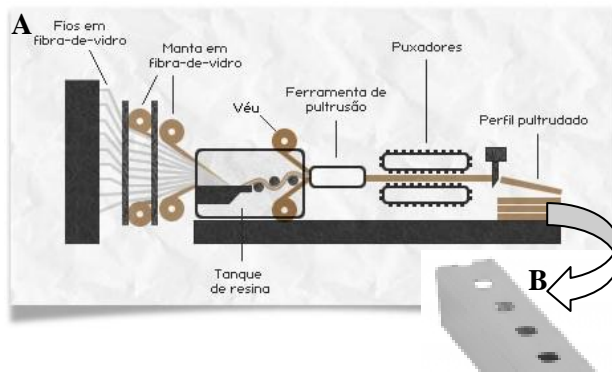


Figura 3. A) Esquema do processo de pultrusão, B) Perfil utilizado eletrocalha
Fonte: IPR - Indústria de Plástico Reforçado

Para a fabricação de eletrocalhas são utilizadas fibras contínuas, como as apresentadas na Figura 4A, aliadas a véus e mantas de fibras descontínuas, Figura 5B, como reforço.

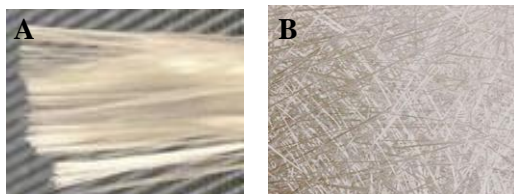


Figura 4. Diferentes tipos de apresentações de fibra de vidro: A) Feixe de fibra contínua, B) Fibra descontínua
Fonte: Advanced Vacuum

1.5. Resina Poliéster

A resina poliéster é um polímero termorrígido de uma família de polímeros formados pela reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos e glicóis, que quando reagem entre si geram cadeias longas lineares. A resina poliéster é uma das mais utilizadas no mundo devido ao seu baixo custo e suas propriedades de baixa viscosidade, o que auxiliam muito na absorção da matriz pelas fibras, muito importantes para os processos

mais simples de impregnação, tais como o de impregnação manual.

Além de seu baixo custo, características como estabilidade mecânica, química e elétrica fazem parte do leque de vantagens deste polímero [7].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Na Tabela 1 e 2 são apresentadas propriedades características típicas da resina poliéster e da FV, aplicadas na confecção dos corpos de prova (cdp's) utilizados neste trabalho.

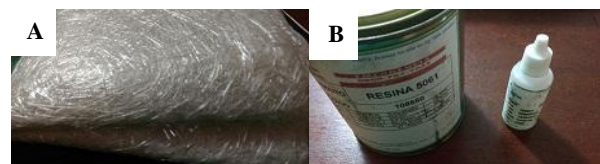


Figura 05. Matérias-primas virgens antes da compostagem A) resina poliéster, B) manta de vidro com fibras descontínuas

Tabela 01. Propriedades da resina poliéster - adaptada [8]

Propriedade	Valor
Tensão de ruptura (MPa)	45
Módulo elástico (GPa)	3,2
Massa específica (g/cm ³)	1,38
Alongamento (%)	13

Tabela 02. Propriedades da fibra de vidro - adaptada [9]

Propriedade	Valor
Tensão de ruptura (MPa)	2,4
Módulo de elástico (GPa)	72,4
Massa específica (g/cm ³)	2,40
Alongamento (%)	4,8

O material reciclado, compósito PRFV pulverizado, foi obtido a partir de refugos de eletrocalhas cedidos pela empresa Stratus Compostos Estruturais.

2.2 Métodos

O procedimento estabelecido para a pulverização dos refugos das calhas foi a reciclagem mecânica por atrito, utilizando uma micro Retífica Elétrica Dremel 3000, Figura 6, cujo contato do rebolo gera a redução a pó da eletrocalha conforme mostrado na Figura 07.



Figura 6. Micro Retífica

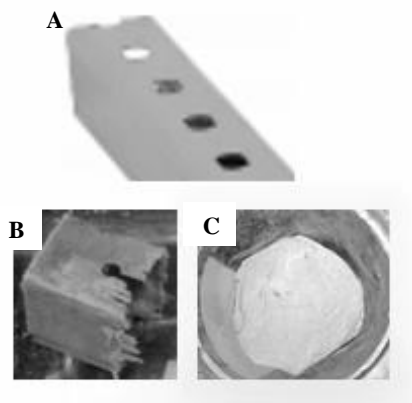


Figura 07. Pulverização dos refugos das eletrocalhas com a utilização da micro retífica:

A) Eletrocalha a ser moída, B) Eletrocalha após ser trabalhada com a micro retífica, C) pó resultante da moagem

Para identificar o comportamento da substituição da FV virgem, pelo pó do material reciclado, foram confeccionadas placas de compósito seguindo uma redução do percentual de matéria prima virgem, redução esta compensada pelo pó reciclado, adicionado a resina poliéster. A Tabela 03 mostra as proporções em massa dos componentes utilizados em cada placa. Foram obtidas 03

placas, sendo estas com proporções de 0, 10 e 20 % de material de reforço reciclado.

Tabela 03. Composição mássica das placas

Componente	Quantidade (g) / % massa no compósito		
	Placa 1 (0% reciclado)	Placa 2 (10% reciclado)	Placa 2 (20% reciclado)
Fibra de vidro	64,5 / 36,92	23,6 / 32,32	19,6 / 28,52
Pó reciclado	0 / 0	2,6 / 3,58	4,9 / 7,13
Resina Poliéster	110,2 / 63,08	46,5 / 64,12	44,2 / 64,8

A confecção das placas foi realizada por impregnação manual seguida por prensagem em placas planas com massa de 30 kg e com dimensional de 35cm x 29cm, resultando em uma pressão de 0,29 Kgf/cm².

As placas foram mantidas sob pressão à temperatura ambiente, por 07 dias para cura. A Figura 08 ilustra a sequência de confecção das placas.



Figura 08. Sequência de preparação das placas de compósito para ensaios mecânicos comparativos: A) e B) retirada de material virgem da manta de reforço C) Mistura de resina poliéster mais reciclado pulverizado, D) impregnação, E) placa de compósito PRFV pós cura.

As placas obtidas foram cortadas, dando origem a corpos de prova (cdp's) para a

determinação de propriedades mecânicas, de acordo com a norma ASTM 3039 [10]. Foram ensaiados 3 corpos de prova de cada placa.

A Tabela 04 indica as dimensões dos cdp's obtidos a partir das placas curadas. Cada cdp recebeu um tab (camada protetora que serve para melhorar aderência nas garras e evitar danos ao cdp durante o ensaio de resistência mecânica), conforme mostrado na Figura 09. Os tabs foram cortados na mesma largura dos cdp's e colados utilizando adesivo epóxi.

Tabela 04. Dimensionais dos cdp's utilizados nos cálculos dos ensaios mecânicos.

Parcela de reforço reciclado (%)							
	0		10		20		
nº cdp	L	E	L	E	L	E	comprimento
1	24,43	1,10	25,86	1,04	26,55	1,10	250
2	24,76	1,14	26,93	1,21	24,91	1,11	
3	25,85	1,09	25,08	1,10	25,49	1,00	
Dimensões em mm			L = largura		E = Espessura		

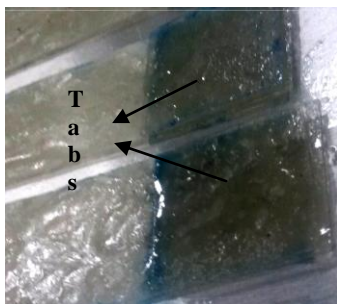


Figura 9. Cdp's pós colagem dos tabs.

Após a colagem dos tab's, os cdp's foram ensaiados numa máquina de tração modelo MTS 810 System, disponibilizada pelo laboratório de ensaios mecânicos da divisão de sistemas aeronáuticos (ASA) do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), ilustrada na Figura 10.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O material pulverizado pôde ser incorporado facilmente à matriz, não sendo observadas aglomerações de pó ou dificuldades no processo de impregnação,

conforme mostrado na Figura 11, onde são ilustradas amostras das superfícies comparativas das três placas.



Figura 10. Máquina de Ensaio de propriedades mecânicas

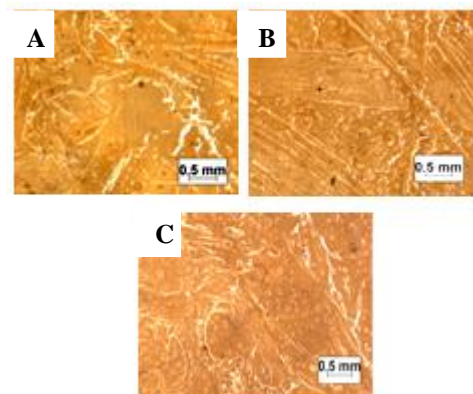


Figura 11. Superfícies comparativas das placas: A) placa 1, B) placa 2 e c) placa 3

Durante o ensaio de tração não foi notado descolamento das camadas ou outro comportamento anômalo que pudesse ser atribuído ao reciclado.

Os resultados, médios, obtidos nos ensaios são apresentadas na Tabela 5 e na Figura 12.

Os resultados demonstraram uma queda gradativa dos valores de σ e ϵ , tendência que acompanhada pelo aumento do reciclado no compósito. A queda nos valores de σ para os compósitos com mistura de 10 e 20% de reciclado foram respectivamente 19 e 30%,

quando comparados ao material reforçado apenas com material virgem. A mesma tendência é observada para ϵ .

Tabela 05. Resultados médios dos ensaios mecânicos

Reforço reciclado, %	Tensão de Ruptura, MPa (σ)	Módulo elástico, GPa (ϵ)	Alongamento, % (E)
0	64,8	6,39	1,02
10	52,2	5,09	1,01
20	45,2	4,86	0,94

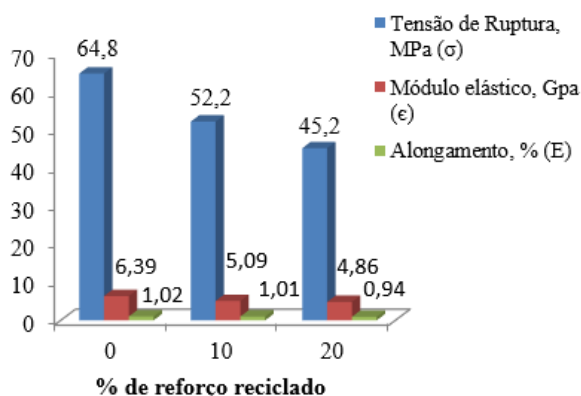


Figura 12. Evolução das propriedades mecânicas do compósito PRFV com a adição de material reciclado.

4. CONCLUSÕES

Tanto para as porcentagens de 10% e 20% de material reciclado, foram obtidos resultados satisfatórios para segmentos não estruturais, viabilizando a utilização de material reciclado, e custeando parte das matérias-primas.

As perdas observadas nos compósitos com a adição de material reciclado não são necessariamente uma restrição para o uso de reciclados, pois não impede a aplicação para produtos com responsabilidade estruturais menos exigentes, tais como condutores, eletrocalhas instaladas verticalmente e produtos voltados para a área de interiores.

O aproveitamento do material pulverizado como reciclado pode ter aplicação para diversos tipos de impregnação, desde processos manuais a processos contínuos automatizados, contudo é recomendado que seja utilizado em recipientes com

movimentação de fluxo, para evitar a decantação do material pulverizado.

5. REFERÊNCIAS

- [1] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Desafios na Reciclagem. Disponível em <http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=183>. Acessado em 20/05/2016.
- [2] ALMACO - Faturamento do setor de compósitos cresceu 9% em 2013. Disponível em <<http://www.almaco.org.br/noticias.cfm?ID=2986>>. Acessado em 10/07/2016.
- [3] HELENA, Lúcia - Reciclagem: O primeiro passo para a preservação ambiental; Disponível em <<http://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem.pdf>>. Acessado em 05/06/2016.
- [4] GONÇALVES, V. O. Avaliação da resistência estática e em fadiga de compósitos de fibra de carbono/epóxi e fibra de vidro/epóxi sob cisalhamento modo iosipescu. 2010. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, na Área de Física e Química dos Materiais Aeroespaciais) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. (DCTA/ITA/DM-092/2010).
- [5] ALMACO. Indústria de compósitos projeta elevação de 8,2% na receita de 2011. Disponível em <http://www.almaco.org.br/es/noticias_anteriores_det.cfm?ID=20420>. Acessado em 17/07/16.
- [6] RICARDO, Luiz. Fibra de Vidro - Disponível em <<http://www.infoescola.com/quimica/fibra-de-vidro/>> Acessado em 03/05/2016.
- [7] NETO, F. L.; PARDINI, L. C. Compósitos Estruturais, Ciência e Tecnologia. Editora Edgard Blücher, 2006.
- [8] Modern Plastic Encyclopedia 96, The McGraw-Hill Companies, New York, NY; R. F. Floral and S. T Peters.
- [9] CALLISTER Jr., W.D. Materials Science and Engineering: an Introduction, 5th. ed., New York, J. Wiley, 2000.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM - D3039/D3039 M, 2000. - Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. USA.