# Processamento de material absorvedor estrutural à base de polianilina e nanotubos de carbono

Luiza de Castro Folgueras<sup>1</sup> e Mirabel Cerqueira Rezende<sup>1</sup> <sup>1</sup> DCTA / Instituto de Aeronáutica e Espaço / Divisão de Materiais

*Resumo* — O presente trabalho aborda o processamento de materiais estruturais absorvedores de micro-ondas. Para tal, foram utilizados formulações à base de polianilina e nanotubos de carbono. Tecidos de fibras de vidro impregnados com essas formulações foram empilhados visando simular a preparação de material estrutural. Em paralelo, foram também processados materiais a partir de nãotecido de poliacrilonitrila. A atenuação da radiação na faixa de micro-ondas incidente no material foi avaliada utilizando-se as técnicas de guia de ondas e arco NRL, na faixa de frequências de 8 a 12 GHz. Os resultados mostram que os materiais processados apresentam bons valores de absorção da radiação, variando de 50 a 85% a energia atenuada.

*Palavras-chave* — Materiais estruturais absorvedores, polianilina, nanotubos de carbono, material absorvedor.

# I. INTRODUÇÃO

Devido às singulares propriedades dos nanotubos de carbono (NTC), diversas e novas possibilidades de suas utilizações e aplicações tem impulsionado o desenvolvimento de novos materiais. Dentre as atrativas propriedades dos NTC pode-se citar boa resistência mecânica, aliada ao fato de não se quebrarem e nem se deformarem, quando dobrados ou submetidos à alta pressão. Destacam-se também como excelentes condutores de calor e capazes de transportar eletricidade [1,2]. Essas propriedades reunidas em uma única estrutura, com tamanho tão reduzido, ativa a imaginação de forma que ao adicioná-los aos plásticos, por exemplo, os NTC podem endurecê-los ou torná-los condutores de eletricidade (caráter metálico). A sua incorporação em tecidos pode torná-los quase "invulneráveis", devido às fibras serem super-resistentes [3,4]. Cita-se ainda que por serem extremamente pequenos e leves, podem chegar ao interior de uma célula e serem usados como sensores para diagnósticos médicos.

As propriedades dos nanotubos de carbono estão relacionadas à combinação da dimensão, diâmetro, do número de camadas concêntricas e do modo pela qual a camada grafênica se enrola. Assim, os nanotubos são divididos em paredes única e múltipla [3,5]. A diferença na forma de enrolar é crucial para as aplicações mais sofisticadas, como a eletrônica, mas de menor importância para os usos que dependem exclusivamente das propriedades mecânicas dos tubos, pois todos os tipos são duros e resistentes.

L.C.Folgueras, luiza@ita.br, Tel +55-12-39476471, M.C.Rezende, mirabel@iae.cta.br, Tel. +55-12-39476420, Fax +55-12-39476405.

Os autores agradecem ao CNPq (Proc. n°. 151803/2008-0 e 559246/2008-0) e à Divisão de Materiais/IAE pelo apoio que vem recebendo. Obs. Alguns resultados deste trabalho foram apresentados no Macro 2010.

O uso de polímero condutor de eletricidade como a polianilina, como centro absorvedor de radiação eletromagnética, é devido às boas características eletromagnéticas que este polímero apresenta [6].

A combinação da polianilina com os nanotubos de parede múltipla (Multiple-Walled Carbon Nanotubes - MWNT) permite aliar as propriedades de ambos os materiais para formar novos materiais funcionais, com aplicação na área de micro-ondas. A incorporação de carga dielétrica em um material altera os máximos da energia absorvida, assim, a polianilina e os nanotubos de carbono atuam como materiais dielétricos em um absorvedor eletromagnético. A utilização de materiais com propriedades eletromagnéticas em fibras e tecidos permite o processamento de materiais absorvedores estruturais (Radar Absorbing Material - RAS) [7]. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo processar e avaliar materiais absorvedores formados a partir de polianilina e nanotubos de carbono de parede múltipla, aditados em uma matriz poliuretânica, visando utilizá-los como materiais absorvedores estruturais.

### II. MATERIAIS E MÉTODOS

O polímero condutor polianilina (PAni) foi sintetizado a partir do ácido dodecilbenzeno sulfônico, via rota química em escala laboratorial. O poliuretano utilizado é de uso comercial e os nanotubos do tipo MWNT foram adquiridos da Bayer – Baytubes C150P. Para processar os compósitos absorvedores foram impregnados tecidos de fibra de vidro estilo *Plain Weave* (20 cm x 20 cm) e nãotecido de poliacrilonitrila. Formulações foram processadas à base de polianilina (15% (m/m)) e nanotubos de carbono de parede múltipla (variando de 0,1 a 1,2% (m/m) – dando origem a 6 materiais) em matriz de poliuretano (Tabela I).

TABELA I – Concentração de nanotubos nas formulações	
Denominação/materiais	Concentração (m/m)
1	0,1
2	0,3
3	0,5
4	0,8
5	1,0
6	1,2

Para promover a homogênea dispersão dos nanotubos e da polianilina, ambos na forma de pó, na matriz de poliuretano, foi utilizada uma ponteira ultrassônica. Os materiais processados foram avaliados quanto à sua morfologia utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV) e suas propriedades eletromagnéticas. Para a avaliação eletromagnética somente os tecidos de fibra de vidro foram empilhados e sem adesão entre as camadas, visando estudar a melhor configuração para o processamento de compósitos estruturais e, ainda, também como materiais flexíveis para o recobrimento de plataformas de grandes dimensões e de difícil acesso.

А caracterização eletromagnética dos materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) foi realizada por medidas de refletividade da radiação incidente no material utilizando as técnicas de guia de ondas e do arco NRL (Naval Research Laboratory) [8,9]. A técnica do arco NRL utiliza uma estrutura com formato de arco (Fig. 1), em madeira, que permite posicionar antenas (tipo cornetas) que emitem e recebem rádio-frequência na banda X, isto é, de 8 a 12 GHz do espectro eletromagnético. As amostras são posicionadas no centro de curvatura do arco, sobre um pedestal e, inicialmente, as antenas são colocadas no centro, na posição mais alta do arco, que corresponde a 10 graus de incidência da radiação. Este dispositivo está acoplado a um analisador de espectro da Anritsu (modelo MS 2668C) e a um gerador de frequências, da Agilent Technologies, modelo 83752A. Visando simular a movimentação do alvo em relação ao radar foram avaliadas as atenuações da radiação em diferentes ângulos de incidência da onda eletromagnética nos materiais processados. Assim, foram realizadas medidas de 10 até 50 graus nos tecidos de fibra de vidro.

A técnica com guia de ondas foi utilizada para avaliar os nãotecidos de poliacrilonitrila. O guia de ondas foi acoplado a um analisador de rede vetorial da Agilent Technologies, modelo 8510C, conectado ao acessório S-parameter Test Hewlett Packard 8510A (45 MHz - 26,56 GHz) e, ainda, a um gerador de frequências sintetizado (45 MHz – 26 GHz).



Fig. 1. Sistema utilizado para avaliação eletromagnética das RAS processados: (a) arco NRL e material posicionado (b) antenas de emissão e recepção das ondas eletromagnéticas.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Fig. 2 e 3 apresentam os aspectos morfológicos dos materiais processados em fibra de vidro e poliacrilonitrila, respectivamente. Na Fig. 2 pode-se observar o recobrimento das fibras do tecido e do nãotecido utilizados no processamento. Os tecidos de fibra de vidro após a impregnação com as formulações apresentaram espessura de 0,45 a 0,65 mm/cada tecido; e os nãotecidos de 3 a 4 mm.



Fig. 2. Aspecto dos tecidos e nãotecidos impregnados com MARE.



Fig. 3. Imagens por microscopia eletrônica de varredura: (a) nanotubos de carbono, (b) tecido de fibra de vidro impregnado, (c) nãotecido de poliacrilonitrila impregnado e (d) formulação processada para a impregnação.

A Fig. 3 apresenta as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura. Na Fig. 3(a) é mostrado o aspecto dos NTC utilizados nas formulações e na Fig. 3(b-c) a impregnação com as formulações de PAni/NWNT no tecido de fibra de vidro e no nãotecido de poliacrilonitrila, respectivamente, onde se observa a boa ancoragem dos impregnantes nos filamentos dos substratos. Observa-se ainda na Fig. 3(d) que a houve uma boa dispersão dos pós de PAni/NWNT na matriz de poliuretano, porém ainda se



São José dos Campos, 28 de setembro a 01 de outubro de 2010

verifica a existência de aglomerados de PAni após a dispersão. Esses aglomerados, segundo a literatura [10] atuam como ilhas de condução elétrica favorecendo a interação da onda eletromagnética com o material.

A Fig. 4 apresenta as curvas relativas às propriedades eletromagnéticas dos materiais formados com os tecidos de fibra de vidro e os nãotecidos de poliacrilonitrila, respectivamente. A linha preta nas curvas corresponde à avaliação do material de referência, isto é, os substratos sem aplicação do material absorvedor de radiação, posicionado sobre uma placa metálica de alumínio, que é utilizada nas medidas de refletividade, sendo esse 100% refletor, isto é, com 0% de absorção. As curvas referentes à placa metálica e ao substrato coincidem, devido ao substrato ser transparente às micro-ondas.



Fig. 4. Avaliação eletromagnética dos materiais processados: (a) tecido de fibra de vidro e (b) nãotecido de poliacrilonitrila.

A Fig. 4(a) apresenta os resultados da avaliação dos tecidos de fibra de vidro, utilizando a técnica com arco NRL. Estes resultados referem-se ao empilhamento dos materiais 1, 2 e 3 (Tab. 1) que apresentaram o melhor desempenho quanto à absorção da onda eletromagnética. Pode-se observar que à medida que o ângulo de incidência se afasta de 10 graus (posição central das antenas de emissão e recepção de microondas) tem-se o aumento da atenuação da radiação. As curvas mostram o comportamento de absorvedores do tipo banda larga para frequências mais altas (acima de 11,5 GHz) e ressonantes em 9,5 GHz, para os ângulos de incidência maiores (acima de 20°). Em relação ao material de referência verifica-se atenuação entre 3 e 5 dB, que correspondem à absorção de 50 a 70% da onda eletromagnética incidente. O uso desta técnica de avaliação eletromagnética, além de permitir avaliar materiais com maiores dimensões, visa simular a movimentação do material absorvedor, já aplicado em plataformas metálicas, em relação aos ângulos de iluminação de um radar.

A Fig. 4(b) mostra os resultados do comportamento eletromagnético dos nãotecidos impregnados com MARE. Observa-se que, de modo geral, há um aumento na atenuação da radiação, com o aumento da concentração de NWNT na formulação utilizada no processamento dos materiais. Estes materiais processados apresentam absorção máxima de até 85% da radiação.

## IV. CONCLUSÕES

Baseado neste estudo, pode-se concluir que os materiais processados com polianilina e nanotubos possuem potencial para serem utilizados como absorvedores de micro-ondas, atenuando de 50 a 85% da radiação eletromagnética incidente. As formulações processadas apesar de bem dispersas na matriz poliuretânica, os aglomerados formam caminhos de condução, pelo fato das partículas de polianilina estarem presentes em maior quantidade na formulação. Os materiais processados apresentam tendência para aplicação como absorvedores em frequências mais altas, isto é, para a banda Ku (12 a 18 GHz).

### REFERÊNCIAS

- [1] M.S. Dresselhaus; G. Dresselhaus; R. Saito Carbon., v. 33, pp. 883, 1985
- [2] L-C. Qin; X. Zhao; K. Hirahara; Y. Miyamoto; S. Iijima Nature, v.408, pp. 50, 2000.
- [3] A.B. Dalton; S. Collins; E. Muñoz; J.M. Razal; VH. Ebron; J.P. Ferraris; J.N. Coleman; B.G. kim; R.H. Baughman Nature, v. 423, pp. 703, 2003. [4] AL. Chun Nature Nanotechnology, jun., 2008.
- [5] A.J.G. Zarbin Química Nova, v. 30, n. 6, pp.1469, 2007.
- [6] L.C. Folgueras; M.A. Alves; M.C. Rezende. J. Aerospace Tech. And Management, v. 2,n. 1,pp. 63, 2010.
- [7] W.S. Chin; D.G. Lee Composite structures, v.77, pp. 457, 2007.
- [8] L.C. Folgueras; M.C. Rezende Material Research, v. 11, n. 3, pp. 245, 2008
- [9] M.I. Skolnik, Ed. Radar Handbook, New York: McGraw-Hill Book Company, 1970. Chapter 7.
- [10] J.-L., wojkiewicz; S. Fauveaux; J.-L. Miane In: IEEE international conference on Solid Dielectrics, 7th, The Netherlands, 2001.