



Estudo da influência do tamanho do particulado de ferrocarbonila como material absorvedor na faixa de frequência de 8.2 a 12.4GHz (Banda-X)

OLIVEIRA, A.P.S.¹, PIZOL, T.C.¹, AMARAL JUNIOR, M. A.¹, MINEIRO, S.L.¹,
BALDAN, M.R.¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Aluno de Mestrado do curso de Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores - CMS.

²Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil

silvadeoliveira.ana@gmail.com

Resumo. Neste trabalho foi realizado o estudo da influência do tamanho do particulado da ferrocarbonila (FC) e também da espessura das amostras na atenuação da onda eletromagnética. Após a produção das amostras, a perda por reflexão (refletividade) foi medida através dos parâmetros-S em guia de onda retangular na faixa de frequência de 8.2-12.4GHz (Banda-X). De acordo com os resultados obtidos, tanto a espessura das amostras quanto o tamanho do particulado influenciaram na refletividade das amostras. Os corpos de prova com espessura de 2mm e tamanho de particulado entre 25 e 53 μ m apresentaram uma absorção de -22dB (\approx 99%) nas medidas de refletividade.

Palavras-chave: Material Absorvedor; Ferrocarbonila; Banda-X;

1. Introdução

Materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE), apresentam característica de promover a troca de energia da radiação eletromagnética pela energia térmica, em função das propriedades da permissividade elétrica, permeabilidade magnética e resistividade elétrica de seus aditivos. [1]. No campo militar as maiores aplicações de MARE estão no revestimento de superfícies externas e internas de aeronaves, veículos e embarcações militares, visando a “invisibilidade” ao radar. [2]. Existem diversos tipos de materiais que podem ser empregados como MARE, tais como, materiais com propriedades dielétricas, magnéticas ou até mesmo híbridas. Dentre os materiais comumente utilizados com ótimas propriedades elétricas, estão os materiais carbonosos, como, grafite, negro de fumo, nano tubo de carbono, devido sua alta permissividade complexa [9]. Já os MARE com propriedades magnéticas, pode-se citar a ferrocarbonila (FC), por apresentar permeabilidade complexa com perda, facilitando o processo de dissipação da energia da onda [3]. A FC é proveniente do ferro puro, preparada através da decomposição térmica da pentacarbonila de ferro, é formada por micropartículas esféricas e impurezas de carbono, nitrogênio e oxigênio [2].



Logo, este trabalho tem como objetivo produzir compósitos à base de FC com diferentes tamanhos de particulados embutidos em uma matriz de silicone, que sejam capazes de atenuar a radiação eletromagnética dentro da faixa de frequência da Banda-X.

2. Metodologia

2.1 Materiais

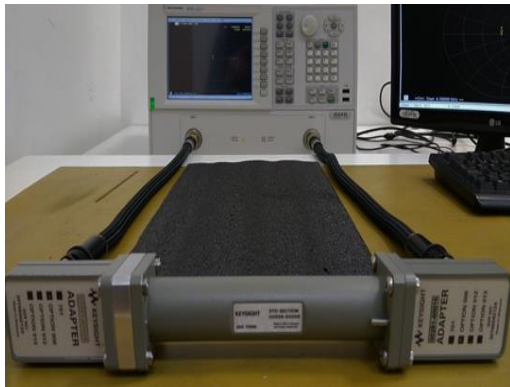
Neste trabalho foi utilizado FC em forma de pó da empresa BASF GmbH em matriz de silicone para produção dos compósitos. O silicone foi utilizado apenas para compactação dos particulados de FC, para que possam ser medidos dentro do guia de onda. Além disso, antes dos particulados de FC serem embutidos na matriz de silicone, os tamanhos de particulados (Pe) foram separados. Para isso, um agitador de peneiras mecânico foi utilizado para separar o FC pulverizado o qual foi agitado por cerca de 30 minutos. Os tamanhos de particulados obtidos foram de $25 < Pe < 53 \mu\text{m}$, $53 < Pe < 63 \mu\text{m}$ e $Pe > 63 \mu\text{m}$ (Tabela 1). Após a separação dos particulados, a FC em pó foi manualmente homogeneizada na proporção em massa de 70:30 de FC em silicone com 0.5ml de catalizador para enrijecer o compósito. Após isso, a mistura foi adicionada a um molde, apropriado para a Banda-X, de 22.4mm de largura e 10.22mm de altura com espessuras de 1, 2 e 3mm. A tabela 1 mostra a preparação dos corpos de prova.

Tabela 1. Corpos de Prova Preparados

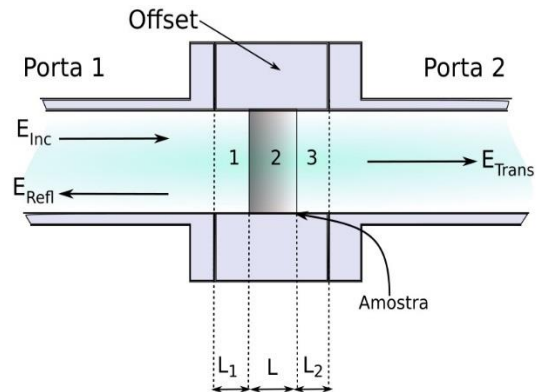
Espessura (mm)	Tamanho das Partículas FC (μm)			Concentração de FC em silicone (%)
	$25 < Pe < 53$	$53 < Pe < 63$	$Pe > 63$	
1	$25 < Pe < 53$	$53 < Pe < 63$	$Pe > 63$	70
2	$25 < Pe < 53$	$53 < Pe < 63$	$Pe > 63$	70
3	$25 < Pe < 53$	$53 < Pe < 63$	$Pe > 63$	70

2.2 Obtenção da Permissividade e Permeabilidade

As caracterizações eletromagnéticas foram realizadas através de um guia de onda retangular (WR-90 X11644A) acoplado a um analisador de redes vetorial PNA-L 50GHz (Keysight N5232A), como mostrado na Figura 1 (a). As propriedades eletromagnéticas foram medidas na faixa de frequência da Banda-X (8.2-12.4GHz). Conhecidos como parâmetros de espalhamento (parâmetros-S), o qual permite um melhor entendimento da interação da onda eletromagnética com o material. Na Figura 1 (b) é mostrado a configuração experimental usada para medir os parâmetros-S com duas portas.



(a)



(b)

Figura 1- (a) Guia de onda retangular acoplado ao analisador de redes vetorial e (b) configuração experimental usada para medir os parâmetros-S com duas portas

Para obtenção da permissividade e permeabilidade complexas foi empregado método de Nicolson-Ross-Weir (NRW), conhecido também como método de transmissão e reflexão. O método consiste em utilizar os parâmetros S_{11} e S_{21} obtidos através das medidas no analisador de redes vetorial para calcular a permissividade e permeabilidade complexa em função da frequência, neste caso, de 8.2-12.4GHz.

A permissividade e permeabilidade são propriedades elétricas e magnéticas dos materiais, e estão diretamente associadas com as características de absorção da radiação eletromagnética incidente. A permissividade e permeabilidade complexa são determinadas através das Equações (1) e (2), respectivamente. Dessas expressões, a parte real está relacionada com o armazenamento, enquanto a parte imaginária está associada com a dissipação da energia [6,7].

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - i\epsilon''_r \quad (1)$$

$$\mu_r = \mu'_r - i\mu''_r \quad (2)$$

2.3 Medida da Refletividade

O desempenho do material absorvedor é dependente da frequência da onda eletromagnética incidente e da espessura da amostra, conforme Eq. 3 e 4, que representam a impedância do material e medidas de refletividade. [4].

$$Z_r = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} t \sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}\right) \quad (3)$$

$$RL(dB) = 20 \log \left| \frac{Z_r - 1}{Z_r + 1} \right| \quad (4)$$



Z_r é a impedância relativa de entrada do material, t é a espessura da amostra, μ_r é a permeabilidade magnética relativa, ϵ_r a permissividade elétrica relativa do material e λ o comprimento da onda incidente no espaço livre.

3. Resultados e Discussão

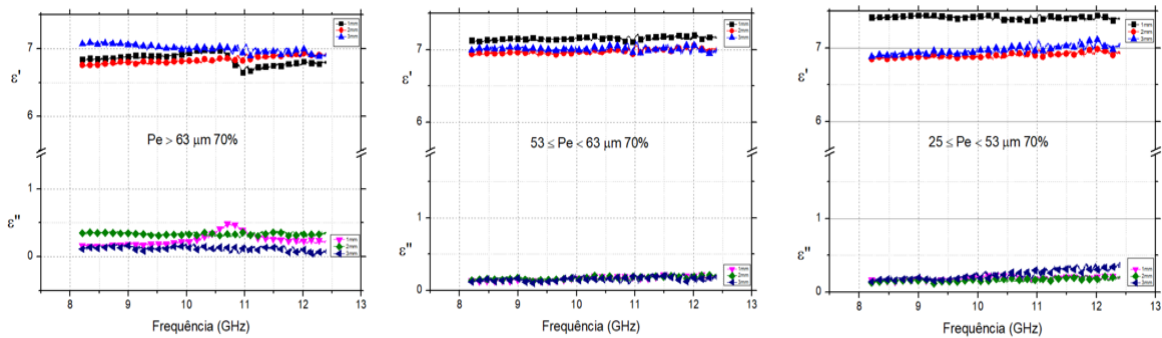


Figura 2 – Curvas da parte real da permissividade em função da frequência

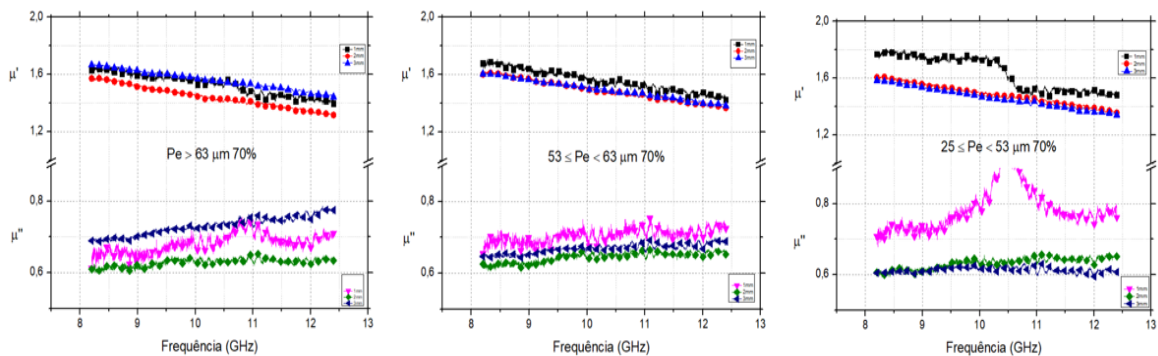


Figura 3 – Curvas da parte real da permeabilidade em função da frequência

O gráfico da Fig.4 apresenta as curvas de refletividade (coeficiente de reflexão), caracterizado sobre uma placa metálica, na faixa de frequência 8.2 a 12.4 GHz. Destaca-se a refletividade para a amostra de 2mm com tamanho de particulado de $25 < Pe < 53 \mu\text{m}$.

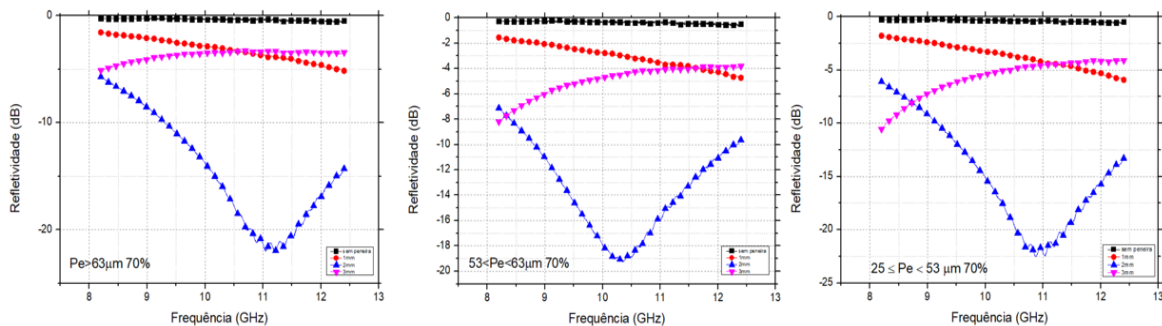


Figura 4 – Refletividade das amostras de 1 a 3mm em função da frequência

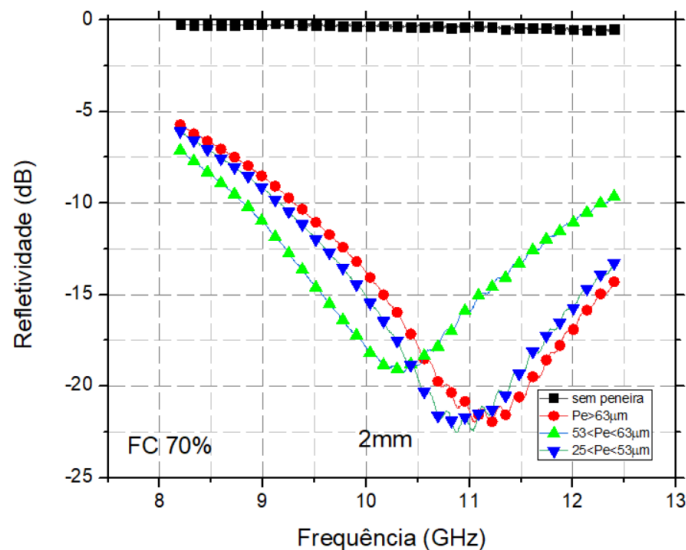


Figura 5 – Refletividade da amostra de 2mm para todos os particulados

Na Fig. 5 é possível observar que o maior valor de refletividade foi para amostra de 2mm de espessura, com tamanho de particulado de $25 < Pe < 53\mu\text{m}$, -22dB (~99% de atenuação da radiação incidente [8], em 11 GHz, no fim da banda-X. Observa-se que para os outros tamanhos de particulados, ocorre o mesmo comportamento para as amostras de 2mm, porém com variação de atenuação da radiação incidente.

4. Conclusão

Tendo como base os resultados apresentados, é possível concluir que a espessura da amostra e o tamanho do particulado de FC afetam significativamente o comportamento do MARE obtido, sendo possível controlar a quantidade de energia atenuada, faixa de frequências e tipo de absorvedor obtido. Os resultados mostram a obtenção do absorvedor para amostras na espessura de 2mm, independente do tamanho de particulado. Verificou-se também que o menor particulado ($25 < Pe < 53\mu\text{m}$) contribuíram mais significativamente para o bom desempenho do MARE caracterizado. Os resultados apresentados, permitem verificar que não somente a espessura e concentração, mas a dimensão dos particulados e sua distribuição afetam as propriedades eletromagnéticas do compósito, silicone com FC.

Agradecimentos: A CAPES pela realização deste trabalho.

Referências

- [1] PINHO, M. S. et al. Compósitos condutores de polianilina e policloropeno, *Matéria Revista Científica Virtual*, v. 6, n. 2, 2002
- [2] A. M. Gama/ M. C. Rezende: Estudo da influência dos parâmetros de concentração de ferro carbonila e espessura em medidas de refletividade MARE.



- [3] LEE, S. M. International encyclopedial of composites. New York: VHC Publishers, 1991.
- [4] E. F. Knott, J. F. Scheffer, M. T. Tuley, “Radar cross section: its prediction, measurement, and reduction”. 6th ed., Dedham: Artech House. 1985.
- [5] FOLGUERAS, L. C. Obtenção e caracterização de materiais absorvedores de microondas flexíveis impregnados com polianilina. 2005. 254f. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [6] T. Min, H. Jin Choi, N. Kim, K. Park, C. Tou, “Effects of surface treatment on magnetic carbonyl iron/polyaniline microspheres and their magnetorheological study, Colloid Surface A, vol. 531, pp. 48-55, 2017.
- [7] S. Tyagi, H.B.Baskey, R.Chandra Agarwala, V.Agarwala, T.Chand Shami, „Development of hard/soft ferrite nanocomposite for enhanced microwave absorption, Ceram.Int., vol. 37, p. 2631–2641, 2011.
- [8] S.M. Lee, “International encyclopedial of composites”, v.6, New York: VHC Publishers, 1991.
- [9] CHUNG, D. D. L. Materials for electromagnetic interference shielding. Journal of Materials Engineering and performance, v. 9, n. 3, p. 350-354, 2000.