

Medidas do Coeficiente de Reflexão (S_{11}), na Banda X, de Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética à Base de Ferrita de MnZn

José Jesus Pereira^{1,2}, Valdirene Aparecida Silva^{1,2}, Evandro Luís Nohara¹, Mirabel Cerqueira Rezende²

1 – Universidade de Taubaté - Departamento de Engenharia Mecânica - Rua Daniel Danelli, S/N, Campus da Juta, CEP 12060-440 – Taubaté – SP, evandro@unitau.br. 2 - Comando de Tecnologia Aeroespacial/Instituto de Aeronáutica e Espaço/Divisão de Materiais - Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, São José dos Campos/SP, CEP: 12228-904 – e-mail: jesusp_99@yahoo.com.br, mirabel@iae.cta.br, valapsilva@yahoo.com.br, tel: 012-3947-6443

Resumo — Os Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (MARE) são obtidos com base no processamento de matrizes poliméricas aditadas com partículas específicas ao uso de absorvedor. Este trabalho tem por objetivo determinar o coeficiente de reflexão em guia de ondas (S_{11} com placa metálica) de MARE à base de ferritas de MnZn, na faixa de frequências de 8-12 GHz, tendo como variável a concentração, em massa, da ferrita em uma matriz de resina epóxi. Foram obtidas micrografias da superfície das amostras, avaliando-se a dispersão da ferrita na matriz de resina epóxi. Os resultados obtidos mostram a influência do aumento da atenuação do sinal incidente no material em função do aumento da concentração da ferrita de MnZn.

Palavras-chaves — Material absorvedor de radiação eletromagnética, caracterização eletromagnética, guia de ondas, ferrita de microondas.

I INTRODUÇÃO

Os materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) têm recebido muita atenção nas últimas décadas, devido às crescentes exigências das legislações governamentais no controle de níveis de radiação eletromagnética espúria emitida por equipamentos eletrônicos [16,11]; às exigências das normas industriais de compatibilidade e interferência eletromagnética [16,11,4], bem como em função da demanda da sociedade na confiabilidade de equipamentos eletrônicos [11,7].

Na área de telecomunicações, a preparação de materiais absorvedores de radiação, tipo mantas finas elastoméricas com espessuras inferiores a 3 mm, é fundamental para o isolamento de sinais interferentes [3,17], para aprimorar os diagramas de radiação de antenas, assim como na eliminação de lóbulos laterais de antenas [17], como no caso de telefones celulares [13].

Pereira, J. J., jesusp_99@yahoo.com.br, AMR/IAE/CTA, Tel +55-12-39476443; Silva, V. A., valapsilva@yahoo.com.br, ITA; Nohara, E. L., evandro@unitau.br, UNITAU-SP; Rezende, M. C., mirabel@iae.cta.br, AMR/IAE/CTA; Tel +55-12-39476420, Fax +55-12-39476400. Este trabalho está sendo realizado com os apoios do COMAER, FINEP (Processo n.º. 1757/053) e CNPq (Processo n.º. 381955/2005-2)

Os MARE podem ser preparados pela utilização de aditivos dielétricos ou magnéticos [16,17,13,14]. Os absorvedores do tipo dielétrico são obtidos a partir de partículas de carbono (grafite, negro de fumo, carbono vítreo) aditados em diferentes tipos de matrizes poliméricas, podendo essas ser rígidas ou flexíveis, nas formas de mantas ou espumas, tipos: resinas epóxi, fenólica, bismaleimida, poliuretanos, poliimidas, silicone, entre outras [13,6,15,17,13]. Os absorvedores magnéticos são obtidos, principalmente, pelo uso de ferritas do tipo $M^{2+}[Fe_2^{3+}]O_4$, pelo fato desse aditivo favorecer a absorção de radiação eletromagnética na faixa de microondas [8,9]. A ferrita pode ser adicionada nos mesmos tipos de matrizes poliméricas utilizadas no processamento de MARE dielétricos.

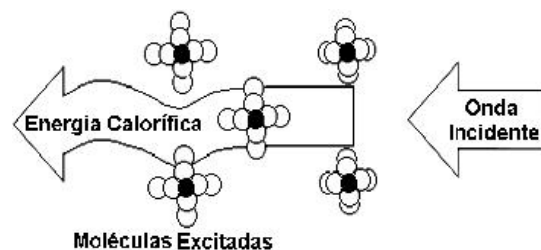


Fig. 1. Conversão da energia da onda eletromagnética em energia calorífica pelo MARE [13].

Este trabalho tem por objetivo determinar o coeficiente de reflexão em guia de ondas (S_{11} com placa metálica) de MARE à base de ferritas de MnZn, na faixa de frequências de 8-12 GHz, tendo como variável a concentração, em massa, da ferrita em uma matriz de resina epóxi.

II EXPERIMENTAL

A Materiais

Ferrita de manganês-zinco (F) e matriz polimérica bicomponente, marca Araldite, formada por resina epóxi e endurecedor (RE).

B Obtenção de MARE

As misturas físicas com razões de 40:60, 50:50 e 60:40 (% em massa de F:RE), denominadas F40, F50 e

F60 respectivamente, foram realizadas manualmente à temperatura ambiente (25°C) e vazada em moldes. Esses moldes foram preparados a partir de um trecho do guia de ondas para a banda X, cortado em tamanhos de 10 mm, sendo previamente aplicado desmoldante em suas paredes internas. Desta forma, obteve-se amostras com as dimensões (10,0 x 22,9) mm, após a cura em temperatura ambiente por 24 horas, como mostra a Figura 2. Para garantir a mesma espessura e acabamento superficial em todas as amostras analisadas, os mesmos foram retificados com um disco diamantado, obtendo-se uma precisão de 0,005 mm. Foi mantida a espessura em $3,00 \pm 0,02$ mm para todos as amostras.

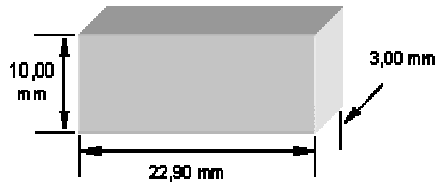


Fig. 2. Dimensões das amostras.

C Medidas de Refletividade

A metodologia adotada no Laboratório de Caracterização Eletromagnética da Divisão de Materiais do CTA, para as medidas de refletividade em guia de ondas, utiliza um Analisador de Redes Vetorial Agilent 8510C adaptado com um *kit* de calibração WR-90 da Agilent, para medidas na faixa de frequências compreendida entre 8-12 GHz. Os Parâmetros “S” (S_{11} , S_{21} , S_{12} e S_{22}) mostrados na Figura 3, são medidos por este equipamento que fornece os valores em magnitude e fase. A metodologia utilizada é baseada na literatura [10,1,2,12]. Os gráficos são ilustrados pelo eixo das abscissas em frequências, dado em GHz, e o eixo das ordenadas em atenuação dado em dB, conforme adotado pela literatura [13,15,16].

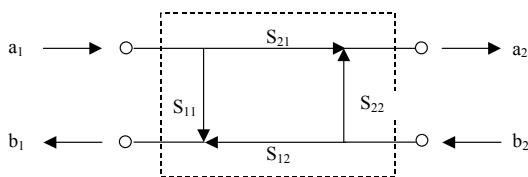


Fig. 3. Diagrama dos Parâmetros “S”.

Os parâmetros S_{11} e S_{22} representam a energia refletida, os S_{12} e S_{21} representam a energia transmitida, a_1 e b_2 representam as ondas incidentes e b_1 e a_2 representam as ondas refletidas.

Com o auxílio dos *kits* de calibração é possível alternar a faixa de frequências de trabalho e a configuração de medida. Para este trabalho foi montada a configuração de medida para refletividade com uma placa metálica posicionada atrás do porta-amostra, conforme mostra a Figura 4 [7,10,13]. A Figura 5 mostra o acondicionamento da amostra dentro do porta-amostra.

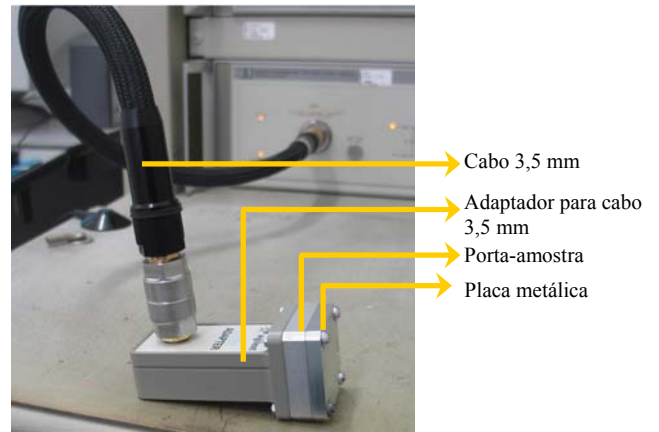


Fig. 4. Configuração de medida para refletividade com placa metálica.

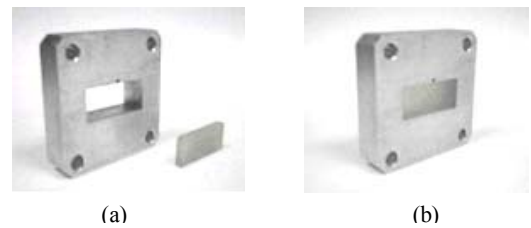


Fig. 5. Porta-amostra para guia de ondas na banda X (8 – 12 GHz). (a) amostra fora do porta-amostra, (b) amostra encaixada no porta-amostra.

O analisador de redes vetorial após calibração fornece os valores da atenuação do sinal em decibéis (dB) em função da variação da frequência dada em gigahertz (GHz). Para a conversão dos valores de decibéis em porcentagem de atenuação do sinal foi utilizada a fórmula logarítmica [13], conforme a Equação 1. A Tabela 1 apresenta alguns valores em decibéis convertidos em porcentagem calculados com a Equação 1.

$$A(\%) = (1 - 10^{\frac{-dB}{10}}) \times 100 \quad (1)$$

TABELA I. VALORES DE POTÊNCIA EM DB CONVERTIDOS PARA PORCENTAGEM [11].

Potência do sinal atenuado (dB)	Porcentagem do sinal atenuado (%)
0	0
-3	50
-10	90
-20	99
-30	99,9
-40	99,99

III RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Refletividade

Os gráficos de Atenuação (dB) *versus* Frequência (GHz), para as diferentes concentrações de ferrita de MnZn em relação à matriz polimérica, encontram-se ilustrados nas Figuras 6, 7 e 8. A reta horizontal em 0 dB é o sinal de referência, isto é, uma placa metálica com reflexão total.

O gráfico da Figura 6 mostra a curva de refletividade da amostra F40, na faixa de frequências compreendidas entre 8-12 GHz. A curva da Figura 8 representa uma atenuação entre -2 dB (8 GHz) e -7 dB (12 GHz), o que equivale a uma variação de 37% e, aproximadamente, 80% de atenuação da energia incidente, respectivamente. Pode-se observar que a melhor atenuação deste material, em torno de -7 dB está na faixa de frequências de 10 e 12 GHz.

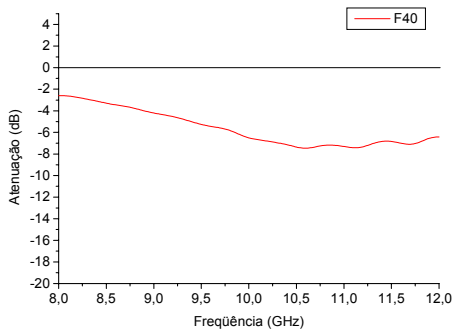


Fig. 6. Gráfico de refletividade S_{11} da amostra F40.

A Figura 9 mostra a curva de atenuação do MARE F50, onde pode-se observar que a amostra F50 apresenta um melhor atenuação em relação à amostra F40, entre a faixa de frequências de 9,0 a 11 GHz. Nesta concentração pode-se dizer que este material tem comportamento ressonante, ou seja, atenua a onda incidente em uma faixa estreita de frequências [NOHARA¹³]. A ressonância apresenta-se na faixa de frequências entre 9,75 e 10,25 GHz, alcançando 12 dB de atenuação, o que equivale a 94% de sinal atenuado pela amostra.

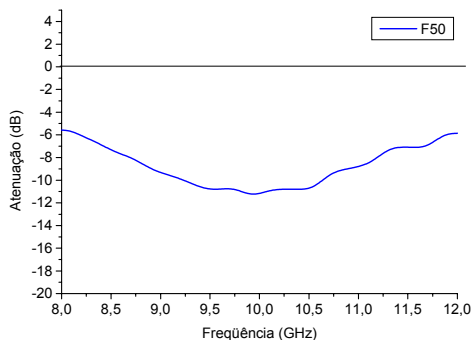


Fig. 7. Gráfico de refletividade S_{11} da amostra F50.

O gráfico da Figura 8 mostra a curva de refletividade do MARE F60, onde observar-se um comportamento ressonante nesta faixa de frequências entre 8,0 e 10,0 GHz. Observa-se também uma maior atenuação da radiação em relação aos outros materiais estudados neste trabalho, alcançando -15 dB, que equivale a 97% de atenuação. Estes valores de atenuação se devem a dois fenômenos que atuam em conjunto para atenuar a onda eletromagnética: a) à concentração de centros absorvedores adequados e ao b) cancelamento de fase. Em a) a onda eletromagnética ao passar pela primeira superfície do material sofre múltiplos processos de atenuação envolvendo os fenômenos de absorção pelas partículas de ferritas de MnZn, simultaneamente a processos de múltiplas reflexões entre essas mesmas partículas de ferritas e as superfícies do

material, superfície MARE-ar e superfície MARE-placa metálica. Em b), o comportamento ressonante é devido ao cancelamento de fases da onda eletromagnética, ou seja, a onda eletromagnética ao penetrar no material sofre inversão de fase de acordo com a espessura elétrica do material.

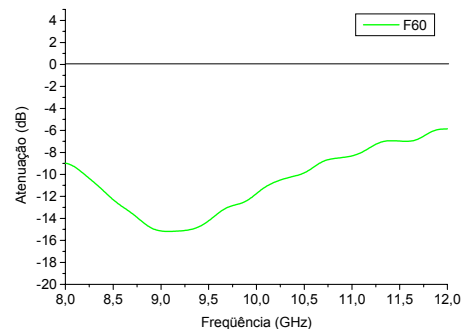


Fig. 8. Gráfico de refletividade S_{11} da amostra F60.

Pelos resultados obtidos observa-se que o aumento da concentração de ferrita de MnZn promove o aumento da atenuação do sinal pelas amostras, isto se deve ao aumento da proporção de centros absorvedores e pelo cancelamento de fases da onda eletromagnética. Para as amostras de MARE F50 e F60 verifica-se que entre 8 e 10 GHz, as curvas apresentam diferentes valores de atenuação entre si de 4 a 6 dB, com uma diferença maior em torno de 9 GHz. De 10 a 12 GHz as amostras F50 e F60 mantêm os mesmos valores de atenuação.

IV CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos conclui-se que a variação da concentração em massa da ferrita de MnZn modifica o comportamento do MARE processado em relação aos níveis de atenuação do sinal incidente. É verificado que à medida que se aumenta a concentração da ferrita, de 40 a 60% em massa, ocorre o aumento da atenuação do sinal (-5 dB a -15 dB em 9 GHz). Para a faixa de frequências de 10 a 12 GHz, os MARE demonstram a mesma tendência de atenuação. Os resultados mostram que existe um compromisso da atenuação com os parâmetros espessura e concentração da ferrita na formulação do MARE. Deste modo, pode-se considerar que no processo de formulação do MARE deve-se procurar adequar a concentração de centros absorvedores e a espessura do material para se obter a atenuação desejada e a presença de ressonância na faixa de frequências de interesse.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA), à FINEP (Processo 1757/05 e ao CNPq (Processo No. 381955/2005-2)).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGILENT TECHNOLOGIES. Basics of measuring the dielectric properties of materials. Application note 1217-1.
- [2] AGILENT TECHNOLOGIES. Materials Measurement: Measuring the dielectric constant of

- solids with the HP 8510 network analyzer. 1985.[3] ARC TECHNOLOGIES, INC. Technical Data Sheet Chip Cap Attenuator, Amesbury. Disponível em: www.arc-tech.com, acessado em 10 jan 2006.
- [4] ARC TECHNOLOGIES, INC. Wavex EMI Supression & Absortion P/N ARC-WX-008, Amesbury. Disponível em: www.arc-tech.com, acessado em 10 jan 2006.
- [5] BRANDON, D. KAPLAN, W. Microstructural Characterization of Materials. John Wiley Sons, Ltda. 2002.
- [6] FAEZ, R. et. al. Polímeros Condutores Intrínsecos e Seu Potencial em Blindagem de Radiações Eletromagnéticas Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 10, n. 3, p. 130-137, São José dos Campos, 24 08 2000.
- [7] GEYER, G. R. et al "Transmission/Reflection and Short-Circuit Line Method for Measuring Permittivity and Permeability", NIST Technical Note 1355-R, 1993.
- [8] HIPPEL, ARTHUR R. VON. "Dielectric Materials and Applications", John Wiley, New York, 1954.
- [9] KIM, S. S. et. al. Complex Permeability and Permittivity and Microwave Absortion of Ferrite-Rubber Composite in X-band Frequencies IEEE Transactions on Magnetics, vol. 27, n. 6, p. 5462-5464, Taejon, 06 nov 1991.
- [10] LAVERGHETTA, T. S. Microwave measurements e techniques. Fort Wayne, Indiana: Artech House, INC. 1976. p 339.
- [11] LEE, S.M. "International Encyclopedia of Composites", vol. 6, *VHC Publishers*, New York, 1991.
- [12] NICHOLSON, A. M, ROSS, G. IEEE Trans Instrum Measure v. 19, p. 377, 1970.
- [13] NOHARA, E. L. Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (8-12 GHz) Obtidos pela Combinação de Compósitos Avançados Dielétricos e Revestimentos Magnéticos. 198f. Tese (Doutorado em Ciência) - Divisão de Pós-graduação do Instituto Tecnológico Aeroespacial, 2003.
- [14] PETROV, V. M., GAGULIN, V.V. Microwave Absorbing Materials Inorganic Materials, Moscow, vol. 37, n. 2, p. 93-98, 2 fev. 2000.
- [15] PINHO, M. S. et. al. Avaliação do Desempenho de Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética por Guia de Ondas Polímeros: Ciência e Tecnologia, p. 23-26, Rio de Janeiro, 01 dez 1999.
- [16] REZENDE, M. C. et. al. Radar Cross Section Measurements (8-12 GHz) of Flat Plates Painted with Microwave Absorbing Materials SBMO/IEEE MTT-S IMOC 2001, São José dos Campos, p. 263-267, 01 jun. 2001.
- [17] SILVA, F. S. Obtenção de Estruturas Híbridas Absorvedoras de Radiação Eletromagnética na Faixa de Microondas Aplicadas no Setor Aeronáutico. 107f. Tese (Mestre em Ciência) - Divisão de Pós-graduação do Instituto Tecnológico Aeroespacial, 2000. [5]