

# Desenvolvimento de materiais absorvedores de radiação eletromagnética à base de ferro carbonila e silicone

Adriana Medeiros Gama

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Pça. Mal-do-Ar Eduardo Gomes, 50, 12228-900 - São José dos Campos - SP.  
Centro Técnico Aeroespacial – Divisão de Materiais – Pça. Mal-do-Ar Eduardo Gomes, 50 – 12228-904 - São José dos Campos - SP.

Andreza de Moura e Mirabel Cerqueira Rezende

Centro Técnico Aeroespacial – Divisão de Materiais – Pça. Mal-do-Ar Eduardo Gomes, 50 – 12228-904 - São José dos Campos - SP.

**Resumo** — O presente trabalho visa contribuir para a consolidação da tecnologia de materiais absorvedores de microondas, dando autonomia ao país no desenvolvimento, caracterização, especificação e aplicação de MARE (material absorvedor de radiação eletromagnética). Dentre os inúmeros benefícios provenientes do desenvolvimento de materiais absorvedores de microondas à base de ferro carbonila pode-se citar a camuflagem de plataformas terrestres e aéreas, a eliminação de radiação interferente em ambientes de medição, de emissão/transmissão de microondas e de ambientes de tomada de decisão. Além da significativa contribuição que este trabalho traz ao Ministério da Defesa, vale ressaltar que este também tem abrangência em áreas diretamente relacionadas com a qualidade de vida de nossa sociedade, destacando-se a blindagem eletromagnética de salas de instrumentação de equipamentos eletrônicos; a eliminação de sinais espúrios de telefones celulares, fornos de microondas e antenas de rádio-transmissão e, na construção civil, na blindagem de edifícios que trabalham com a emissão de sinais de TV e rádio. O objetivo deste trabalho é avaliar fenomenologicamente como se comporta a ferro carbonila como centro absorvedor de radiação eletromagnética, analisando a influência da concentração de aditivo nas medidas de refletividade, na faixa de frequências de 8,0 a 12,0 GHz. Os corpos-de-prova de MARE foram preparados realizando-se a mistura da ferro carbonila em pó e a matriz polimérica (silicone), sendo curados a 100°C durante 1 h. Os resultados mostram que a medida da refletividade é afetada pela concentração de aditivo.

**Palavras-chaves** — ferro carbonila, silicone, refletividade, material absorvedor, radiação eletromagnética.

## I. INTRODUÇÃO

O aumento na demanda por materiais absorvedores de radiações eletromagnéticas tem se constituído em uma importante atividade de pesquisa nestas últimas décadas. Impulsionadas principalmente por aplicações nas áreas militar e civil, tais pesquisas reúnem profissionais de diferentes áreas como matemáticos, físicos, químicos, projetistas, engenheiros de materiais, engenheiros aeronáuticos, engenheiros químicos, entre outros.

A. M. Gama, [adriana.gama@iae.cta.br](mailto:adriana.gama@iae.cta.br); A de Moura, [andrezamoura4@hotmail.com](mailto:andrezamoura4@hotmail.com); M. C. Rezende, [mirabel@iae.cta.br](mailto:mirabel@iae.cta.br), Tel +55-12-3947-6473, Fax +55-12-3947-6405. Este trabalho foi financiado pelo Comando da Aeronáutica através do Projeto MARE e pela FINEP.

A radiação eletromagnética indesejada é a responsável por um tipo específico de poluição ambiental, conhecido como Interferência eletromagnética (EMI – *Electromagnetic Interference*). Para que ocorra essa interferência são necessárias as presenças de um sistema gerador de interferência, um sistema que seja susceptível à interferência gerada e um meio de ligação entre esses dois sistemas. Quando o meio de ligação entre esses dois sistemas é diferente do ar ou do vácuo, como no caso dos cabos de transmissão de energia elétrica, a interferência é do tipo conduzida. Quando o meio de ligação é o ar, gás ou vácuo a interferência é do tipo irradiada [1].

Tanto no campo militar, como no civil, essas interferências podem ser eliminadas ou reduzidas pela aplicação dos Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (MARE) (ou RAM – *Radar Absorbing Material*) e de estruturas absorvedoras de radar (RAS – *Radar Absorbing Structures*). No setor militar, os MARE são utilizados no revestimento de superfícies externas e internas de aeronaves, veículos e embarcações militares, visando a “invisibilidade” ao radar, através da redução da refletividade da energia da onda eletromagnética incidente. As RASs são utilizadas na construção de estruturas absorvedoras de radar como radomes, casamatas, etc. Apesar de não representar uma fatia expressiva de mercado, a área que envolve a tecnologia furtiva vem recebendo significativos recursos e uma expressiva atenção governamental, ao nível mundial [1].

Basicamente, existem três técnicas de projeto e de construção de absorvedores de radiação eletromagnética, baseadas em: cancelamento de fases da onda eletromagnética incidente, espalhamento da onda eletromagnética incidente em direções diferentes da antena receptora, e utilização de materiais com perdas magnéticas e dielétricas intrínsecas dentro da faixa de frequências de interesse [2].

A técnica de cancelamento de fases da onda eletromagnética procura ajustar a espessura do absorvedor, de forma a provocar o cancelamento de fases da onda incidente com as da onda emergente do absorvedor, na interface do material absorvedor com o ar. Esta técnica é amplamente utilizada na produção de absorvedores conhecidos como ressonantes. Absorvedores ressonantes representam a maior parte do mercado. Esses absorvedores apresentam desempenhos relativamente bons, porém são efetivos somente em faixas de frequências muito estreitas [2].

A técnica de espalhamento da onda eletromagnética é a mais utilizada, quando o principal interesse é de reduzir o eco radar pelo efeito físico de espalhamento da onda refletida em direções diferentes da antena receptora. Absorvedores com geometria piramidal utilizam esta técnica, entre outros possíveis fenômenos de perdas, como reflexões múltiplas nos poros do absorvedor e perdas ôhmicas promovidas pelo negro de fumo impregnado nesse tipo de absorvedor [2].

A utilização de materiais com perdas magnéticas e dielétricas envolve, de uma maneira geral, a atenuação da energia da onda eletromagnética incidente pela conversão da energia da onda em calor, no interior do absorvedor. Neste caso, é necessário ajustar a impedância da superfície do absorvedor de forma que a onda incidente penetre nesse material [2].

Acredita-se que, os melhores absorvedores são os que associam mais de um fenômeno de perdas em seu processamento. Infelizmente, esses absorvedores são economicamente mais caros, devido aos problemas relacionados com investimento em pesquisa e processamento.

Materiais absorvedores devem ser escolhidos de acordo com as restrições do tipo de aplicação, como frequência de interesse, facilidade de aplicação, facilidade de produção, durabilidade, desempenho e espessura do material absorvedor.

Entre os vários materiais que podem ser utilizados na obtenção de absorvedores, as ferritas (centros absorvedores magnéticos) apresentam características adequadas à essa aplicação, que viabilizam a sua aplicação nos absorvedores mais tradicionais. Dentre os centros absorvedores magnéticos pode-se citar determinadas ferritas e a ferro carbonila.

A ferro carbonila é praticamente ferro puro, preparada por meio da decomposição térmica da pentacarbonila de ferro. Normalmente, este aditivo tem aparência de um pó cinzento, formado por micropartículas esféricas e impurezas de carbono, nitrogênio e oxigênio.

A ferro carbonila é normalmente utilizada na fabricação de núcleos magnéticos de bobinas de alta frequência, na produção de algumas ferritas e também como aditivos na preparação de materiais absorvedores de radiação eletromagnética, utilizados no recobrimento de plataformas furtivas ao radar (Tecnologia *Stealth*).

A questão da espessura do absorvedor é crítica para aplicações militares, onde a falta de espaço físico ou a limitação de peso são fatores limitantes e determinantes na escolha do material absorvedor. Quando a espessura não é um fator crítico, a absorção de energia numa ampla faixa de frequências pode ser obtida pelo aumento de volume do material e/ou através de uma geometria que favoreça a atenuação da radiação incidente. Esta situação é mais frequente em aplicações civis.

De qualquer forma, quanto menor for a espessura do absorvedor, menores serão o volume de material e o seu peso final e, conseqüentemente, menor serão os custos envolvidos com a produção e aplicação.

O principal desafio na área de absorvedores eletromagnéticos é ajustar as propriedades do material para que este absorva na mais larga faixa de frequências e com a menor espessura possível do material absorvedor.

Infelizmente, para absorção da radiação na faixa de microondas nas proximidades da banda-X, principalmente nas frequências de operação de radares especiais para a detecção de alvos (6-12 GHz) e de comunicação por satélites

(9-12 GHz), existe uma escassez de materiais com valores de permeabilidade maiores que a unidade, importantes na produção de revestimentos finos e de banda larga. Isto tem levado à produção de absorvedores com espessuras consideradas não satisfatórias [2].

Este estudo procura contribuir com resultados experimentais de refletividade de MARE obtidos pelo uso de diferentes concentrações de ferro carbonila aditada em silicone, ao desenvolvimento tecnológico e industrial de absorvedores para a banda X.

## II. PARTE EXPERIMENTAL

Como centro absorvedor na preparação de MARE foi utilizado pó de ferro carbonila, e como matriz polimérica, um silicone bicomponente. O aditivo magnético foi misturado à matriz polimérica de silicone e sílica pirogenada.

Nove amostras foram preparadas com a concentração do aditivo variando entre 30 e 70%, em massa, com incrementos de 5 em 5% de uma amostra para outra, mantendo a espessura constante em  $2,0 \pm 0,1$  mm.

O método de caracterização eletromagnética adotado foi baseado na técnica de medidas de refletividade em guia de ondas, posicionando o material a ser caracterizado em uma cavidade de guia de ondas, utilizando um acoplador direcional na faixa de frequências entre 8 – 12 GHz, marca Hewlett-Packard, modelo X752C, ligado a um analisador de rede escalar HP 8757 A (Hewlett-Packard) e a um gerador de sinais sintetizado 83752A (Agilent), cabos coaxiais de baixas perdas da empresa Adam Russel e Suhner, adaptadores coaxiais de baixas perdas da empresa Suhner, e um microcomputador PC, com interface GPIB (General Purpose Interface Bus). O material de referência, 100% refletor, é uma placa metálica de alumínio. A Fig. 1 apresenta a configuração experimental simplificada para as medidas de refletividade.

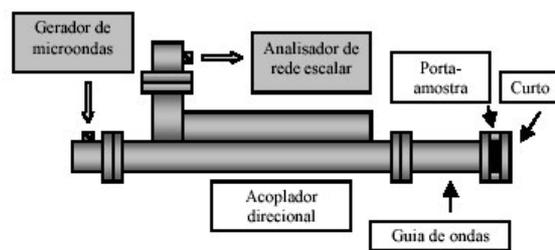


Fig.1. Configuração experimental simplificada para as medidas de perda por reflexão.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico da Fig.2 mostra as curvas de refletividade dos corpos-de-prova obtidos com diferentes concentrações de ferro carbonila, 30 – 70% em massa, caracterizados pelo uso da técnica em guia de ondas..

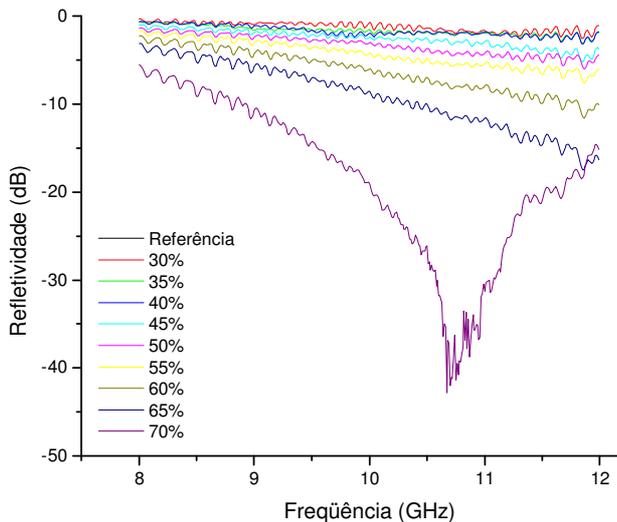


Fig.2. Curvas de refletividade na faixa de microondas de silicone com ferro carbonila em diferentes concentrações (% em massa).

A espessura dos corpos-de-prova está em torno de  $2,0 \pm 0,1$  mm. A análise desta figura mostra que quanto maior a concentração de aditivo na matriz menor é o valor da refletividade (maior a atenuação da radiação incidente).

Vale ressaltar que, na freqüência em torno de 10,7 GHz a amostra que apresenta o melhor valor de refletividade (-40 dB) é aquela com maior concentração de aditivo (70% em massa), o que corresponde, de acordo com a Tabela I, a um valor de atenuação em torno de 99,99%.

TABELA I – CORRELAÇÃO ENTRE REFLETIVIDADE E ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO [3]

dB	%
1,0	20,5
2,0	36,9
3,0	49,8
5,0	68,3
10	90,0
20	99,0
30	99,9
40	99,99

Os resultados obtidos neste trabalho mostram uma metodologia promissora para apoiar estudos envolvendo o processamento de MARE com diferentes níveis de atenuação em diferentes freqüências, utilizando um aditivo disponível comercialmente. Os resultados experimentais deste estudo também têm apoiado outros trabalhos de elucidação do fenômeno da interação onda-matéria, que rege toda a tecnologia de processamento de materiais absorvedores de radiação eletromagnética na faixa de microondas.

#### IV. CONCLUSÃO

O presente trabalho mostra a influência da concentração do aditivo ferro carbonila em silicone nas medidas de refletividade de materiais absorvedores de radiação eletromagnética, sendo verificado que o aumento da concentração do aditivo magnético melhora a atenuação da radiação incidente.

A ferro carbonila estudada mostra-se como eficiente centro absorvedor de radiação incidente na faixa de freqüências de 8,0 – 12,0 GHz. Os resultados das curvas de refletividade

mostram a dependência desta tecnologia com a concentração de aditivo utilizada, sendo determinado que os melhores resultados de atenuação são obtidos com a adição de 70% em massa do aditivo (~99,99% de atenuação)

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que o comportamento ressonante observado para a concentração de 70% (em massa) de ferro carbonila é governado, provavelmente, por dois mecanismos principais, o efeitos da absorção intrínseca e do cancelamento de fases.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Comando da Aeronáutica e da FINEP.

#### REFERÊNCIAS

- [1] NAITO, Y. Ferrite Electromagnetic Wave Absorbers. Journal de physique IV, Colloque C1, Supplément au Journal de Physique III, C1-405 – C1-408, 1997.
- [2] COHN, Z., DALY, J. and PARKER, C. Advanced Ferrite Materials for Anechoic Chambers. Ceramic Transactions, vol. 47, p.269 – 284,
- [3] KNOTT, E., SHAEFFER, J. and TULEY, M. Radar Cross Section, 2ª Ed., Artech House, Inc., 1993.