

# Estudo da Aplicação da Poli(O-Metoxianilina) e de seus Compósitos com Negro de Fumo no Processamento de Absorvedores de Micro-Ondas

Simone de S. Pinto

Departamento de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, ITA

Mirabel C. Rezende

Divisão de Materiais, IAE

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA

**Resumo:** Este estudo apresenta resultados com materiais absorvedores de radiação eletromagnética, MARE, à base de poli(o-metoxianilina) (POMA) e de seus compósitos com negro de fumo (NF) (NF/POMA). A condutividade elétrica dos compósitos NF/POMA foi significativamente maior ( $0,23-80 \text{ S.cm}^{-1}$ ) que para a POMA ( $0,017 \text{ S.cm}^{-1}$ ). Medidas de atenuação da radiação eletromagnética de formulações com esses aditivos poliméricos em resina epóxi foram realizadas na faixa de 8,2 a 12,4 GHz. Resultados de refletividade mostram que as composições com o compósito condutivo NF-10%/POMA apresentam os melhores valores de atenuação da radiação eletromagnética (até 99,5% em 11,7 GHz).

**Palavras-chave:** Poli(o-metoxianilina), POMA, MARE, absorvedores de micro-ondas.

## Application of Poly(o-Methoxyaniline) and its Carbon Black Composites in Microwave Absorbers

**Abstract:** This study deals with the production of radar absorbing materials (RAM) based on poly(o-methoxyaniline) (POMA) and its conductive composites with carbon black (CB) (CB/POMA). The electrical conductivity of the CB/POMA composite was significantly higher ( $0.23-80 \text{ S.cm}^{-1}$ ) than for POMA ( $0.017 \text{ S.cm}^{-1}$ ). The attenuation of the electromagnetic radiation in the range between 8 and 12 GHz was highest for CB/POMA-conductive composites in epoxy resin, reaching up to 99.5% at 11.7 GHz.

**Keywords:** Poly(o-methoxyaniline), POMA, RAM, radar absorbing materials.

## Introdução

Os Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (MARE), também denominados de materiais absorvedores de micro-ondas, vêm sendo cada vez mais utilizados nas áreas de eletroeletrônicos, médica, embalagens, aeronáutica, defesa, entre outras, como materiais aplicados na blindagem e no controle de interferência do campo eletromagnético na região de micro-ondas. Dentre os aditivos mais comumente utilizados no processamento desses materiais destacam-se as ferritas, a ferro carbonila, o negro de fumo e os polímeros condutores<sup>[1-18]</sup>. Considerando-se os polímeros condutores, vale ressaltar a sua crescente importância na área de MARE, em função de suas interessantes propriedades físicas (eletrônicas), estabilidade química, facilidade de síntese, relativa facilidade de processamento e, principalmente, menor massa específica em relação às ferritas e à ferro carbonila<sup>[2,9-18]</sup>.

Os polímeros condutores têm despertado crescentes interesses científicos e tecnológicos nos últimos anos, devido às suas propriedades, em particular, sua condutividade elétrica. Um dos exemplos mais conhecidos refere-se à polianilina (PAni), que está exercendo um papel importante em diferentes desenvolvimentos tecnológicos, devido à sua facilidade de dopagem com ácidos protônicos e sua estabilidade química no estado dopado<sup>[2,3,7,9-11]</sup>.

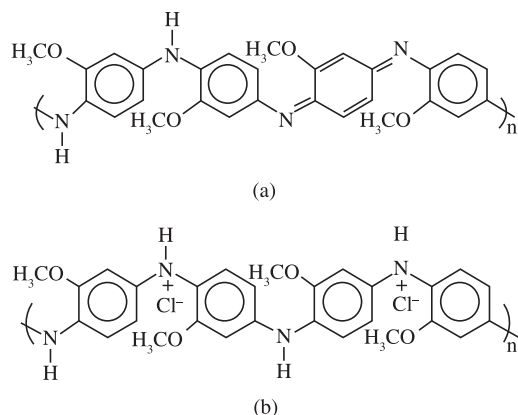
Nos últimos anos, os derivados da polianilina vêm sendo também investigados visando diferentes aplicações<sup>[19-24]</sup>. Nesse sentido, podem-se mencionar derivados da polianilina resultantes da polimerização de anilinas substituídas por grupos sulfônicos e alquilas. Como exemplos de polianilina sulfonada tem-se a SPAni, que apresenta resultados promissores na proteção contra corrosão<sup>[25]</sup> e de PAni alquil substituída pode-se citar a poli(o-metoxianilina)

(POMA), que vem sendo mencionada na literatura em estudos envolvendo filmes finos<sup>[19,20]</sup>, protetores contra corrosão, catálise, material de eletrodo de baterias, biosensores e sensores<sup>[20-22]</sup>.

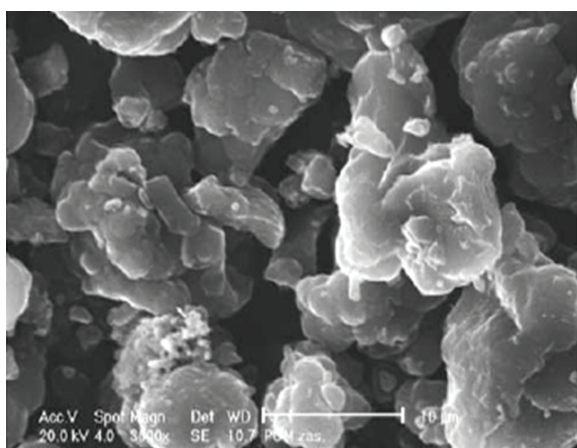
A diferença estrutural da POMA em relação à PAni reside na presença de um grupo metóxi ( $-\text{OCH}_3$ ) na posição orto dos anéis aromáticos<sup>[23]</sup>. Apesar dessa diferença, a POMA apresenta propriedades físicas semelhantes às da polianilina, com a vantagem do grupo metóxi tornar a POMA mais solúvel. Comportamento esse atribuído aos efeitos promovidos pela presença do grupo metóxi, que induz a torção da cadeia polimérica e o aumento da polaridade da mesma, somado ao fato do grupo metóxi aumentar a estabilidade da forma dopada condutora do polímero<sup>[23,24]</sup>.

Nessa família de polímeros, a PAni apresenta a maior condutividade, com valor alcançado de até  $10^4 \text{ S.cm}^{-1}$ <sup>[25-26]</sup>, mas a plena utilização dessa condutividade ainda esbarra com dificuldades de processamento desse polímero<sup>[27]</sup>. Nesse sentido, a POMA contribui por apresentar melhor solubilidade e interessantes propriedades eletrocromáticas, além de ser facilmente sintetizada via rotas química e eletroquímica<sup>[23]</sup>.

A POMA é um polímero que em um de seus estados de semi-oxidação, base esmeraldina Figura 1a, pode ser protonada quando colocada em meio ácido, assim sua condutividade pode aumentar até 11 ordens de grandeza ( $1 \text{ S.cm}^{-1}$ ), tornando-se um condutor elétrico<sup>[28]</sup>. A fórmula estrutural da POMA, em sua forma sal esmeraldina, é esquematizada na Figura 1b<sup>[28]</sup>. A Figura 2 mostra o aspecto morfológico do polímero disponibilizado em literatura, onde se verifica a presença de aglomerados e regiões com textura de flocos<sup>[29]</sup>.



**Figura 1.** Fórmula estrutural da POMA (a) base esmeraldina desprotonada e (b) sal de emeraldina (protonada)<sup>[28]</sup>.



**Figura 2.** Microscopia eletrônica de varredura da POMA<sup>[29]</sup>.

Devido à importância do desenvolvimento de materiais absorvedores de micro-ondas, cada vez mais leves e ajustados à atenuação da radiação em faixas de frequências específicas, a realização deste trabalho teve como motivação o estudo do comportamento do polímero condutor poli(o-metoxianilina) e de seu compósito com negro de fumo (NF/POMA) como absorvedor de micro-ondas, visando a sua aplicação na área de processamento de MARE, tema ainda pouco explorado na literatura.

## Material e Métodos

### Síntese química da poli(o-metoxianilina)

A POMA utilizada neste estudo foi sintetizada a partir da 2-metoxianilina da Aldrich, com 99% de pureza e do oxidante persulfato de amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) da Merck, com 98% de pureza, na relação 4 : 1 em massa (m/m) desses reagentes em uma solução aquosa de HCl da Merck, com 37% de teor mínimo de ácido (1,0 M) a 0 °C, baseando-se no trabalho de Mattoso e Bulhões<sup>[30]</sup>.

Primeiramente, a solução de HCl 1,0 mol.L<sup>-1</sup> foi estabilizada a 0 °C. Em seguida, em um béquer, foram dissolvidos 2,88 g (0,0126 mol) de persulfato de amônio em 50 mL da solução de HCl 1,0 mol.L<sup>-1</sup>. Em um segundo béquer, fez-se a mistura de 75 mL de HCl 1,0 mol.L<sup>-1</sup> com 6,2 mL de o-metoxianilina recém-destilada. O meio reacional contendo a o-metoxianilina foi mantido a 0 °C, sob agitação magnética, durante o gotejamento da solução ácida de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. O tempo total de síntese foi de 120 minutos, como sugere a literatura<sup>[30]</sup>. Ao final desse período, o polímero foi filtrado,

lavado com água destilada até pH neutro e o pó resultante foi secado em estufa à temperatura de 80 °C. Em seguida, o polímero foi moído em almofariz e guardado em dessecador com sílica.

### Preparação do compósito condutor negro de fumo/POMA

A preparação do compósito condutor de negro de fumo/POMA foi baseada no trabalho de Wu et al.<sup>[31]</sup> e conduzida de maneira semelhante à utilizada para a síntese química da POMA. A diferença residiu no acréscimo de 1, 5, 10 e 20% em massa de negro de fumo comercial (Vulcan XC-72R, da Cabot, com tamanho médio de partículas entre 30 e 60 nm e área superficial específica de 378 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup><sup>[32,33]</sup>), respectivamente, no meio reacional, juntamente com a o-metoxianilina. Estas amostras foram identificadas como NF-1%/POMA, NF-5%/POMA, NF-10%/POMA e NF-20%/POMA, respectivamente.

### Preparação do MARE

Na preparação das amostras de MARE com POMA e NF/POMA foi utilizado um sistema epoxídico comercial da marca Araldite, na proporção resina: endurecedor de 2 : 1 (m/m). As amostras foram obtidas pela adição de 1, 5, 10 e 20% em massa de POMA e dos compósitos NF/POMA, respectivamente, na matriz de resina epóxi. As dimensões iniciais do corpo de prova foram iguais a 23,0 mm de comprimento, 10,0 mm de largura e 9,0 mm de espessura. Nesse processo procurou-se garantir que todas as faces do corpo de prova ficassem planas e com o mínimo de rugosidade. Após cada medida de refletividade, a espessura inicial do corpo de prova de 9,0 mm foi diminuída cuidadosamente pelo uso de retífica para 7,0; 5,0; 4,5 e 3,5 mm, respectivamente.

### Caracterização dos materiais

A POMA sintetizada e os compósitos condutores NF/POMA foram caracterizados quanto aos seus aspectos morfológicos por microscopia eletrônica de varredura e suas condutividades elétricas. As amostras de MARE processadas em resina epóxi foram avaliadas quanto ao desempenho na atenuação da radiação eletromagnética na faixa de micro-ondas (banda X – 8,2 a 12,4 GHz), via medidas de refletividade pela técnica de guia de ondas.

#### Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As amostras de POMA e dos compósitos condutores foram analisadas quanto à morfologia pelo uso de um microscópio eletrônico de varredura da marca LEO, modelo 435 Vip, com aumento de 20.000×. Neste caso, as amostras em pó foram metalizadas com filme de ouro.

#### Condutividade elétrica

As medidas de condutividade elétrica, em triplicata, foram realizadas em amostras na forma de pastilhas de 15 mm de diâmetro de 1,5 mm de espessura, utilizando-se o método da sonda de quatro pontas<sup>[34]</sup>. Nessa preparação, as pastilhas de negro de fumo, POMA e de NF/POMA foram obtidas em uma prensa uniaxial, marca Solab, com 12 kgf de força, pelo uso de 2 gotas do aglomerante poli(ácido vinílico).

#### Medidas de refletividade

As medidas de refletividade foram realizadas em triplicata, pelo uso da técnica de guia de ondas retangular, de acordo com o método de linha de transmissão ou método de transmissão/reflexão por ondas guiadas, na faixa de frequências de 8,2 a 12,4 GHz (banda X)<sup>[35]</sup>. Neste método, a relação entre a energia eletromagnética refletida (E<sub>r</sub>) pelo material e a energia incidente (E<sub>i</sub>) no material chama-se refletividade e é expressa em dB, representada na Equação 1<sup>[36]</sup>.

A relação entre a atenuação em dB e a porcentagem da radiação eletromagnética absorvida (energia absorvida pelo material) é apresentada na Tabela 1<sup>[36]</sup>.

$$\text{refletividade (dB)} = \log 10 E_i/E_r \quad (1)$$

Os equipamentos e acessórios utilizados neste procedimento consistiram de um analisador de redes vetorial, modelo 8510C, marca HP; cabo coaxial flexível tipo 85132F, com conectores de 7 mm (APC-7) e 3,5 mm; um conjunto de calibração para a banda X, tipo WR 90, todos da marca Agilent Technologies, além de adaptadores, cargas, trecho de guia de ondas, placa metálica de alumínio, porta-amostra, parafusos-guia e um computador PC com placa GPIB.

## Resultados e Discussões

### Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 3 mostra os aspectos morfológicos da POMA obtida neste trabalho. A análise desta figura revela a presença de aglomerados de diferentes tamanhos, com aspecto semelhante ao disponibilizado na literatura, Figura 2<sup>[29]</sup>.

A Figura 4 é representativa da textura do negro de fumo utilizado na síntese do compósito condutor NF/POMA. A análise desta figura mostra a presença de aglomerados de partículas de carbono na ordem de nanômetros. De acordo com a literatura<sup>[32,33]</sup>, o negro de fumo Vulcan XC-72 da Cabot apresenta tamanho médio das partículas entre 30 e 60 nm.

A Figura 5 apresenta as características morfológicas das amostras de NF/POMA avaliadas por microscopia eletrônica de varredura. Estas micrografias foram obtidas das amostras em pó, como obtidas na síntese. A Figura 5a, relativa à amostra do compósito condutor NF/POMA com 1% em massa de negro de fumo, apresenta uma distribuição de aglomerados formados por partículas com aspecto de flocos. As partículas de NF, identificadas por regiões de aglomerados de partículas esféricas de dezenas de nanômetros, como cita a literatura<sup>[32,33]</sup>, não são evidenciadas nesta amostra.

A Figura 5b é representativa do compósito condutor NF/POMA com 5% em massa de negro de fumo. A morfologia desta amostra apresenta regiões com aspectos distintos, onde as partes mais lisas são atribuídas ao polímero POMA, de maneira semelhante ao observado na Figura 5a. A outra região desta mesma amostra já apresenta um aspecto mais rugoso, formado por aglomerados, atribuídos às partículas de POMA de menor tamanho e, principalmente, aos aglomerados de negro de fumo.

As Figuras 5c-d são representativas do compósito condutor NF/POMA com 10% e 20% em massa de negro de fumo, respectivamente. Estas imagens são caracterizadas pela presença de uma região rugosa mais extensa, formada predominantemente por partículas de negro de fumo e possivelmente também por partículas de POMA de menores tamanhos. Observa-se ainda a presença, em menor número, de partículas mais lisas, atribuídas à POMA.

### Condutividade elétrica

A Tabela 2 mostra dados de condutividade elétrica representativos das amostras de POMA pura e do compósito NF/POMA com diferentes porcentagens de negro de fumo.

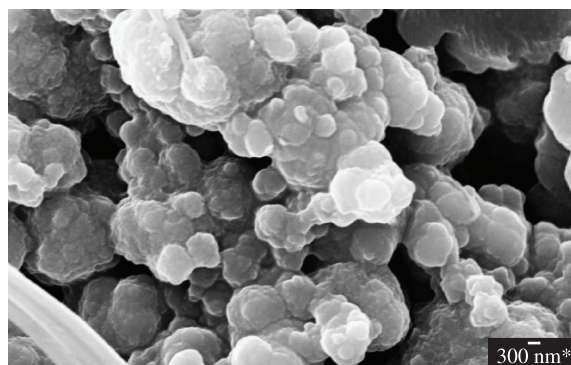
A análise desta tabela evidencia que a condutividade do compósito NF/POMA (0,23 a 80 S.cm<sup>-1</sup>) é significativamente maior que a determinada para a amostra de POMA pura (0,017 S.cm<sup>-1</sup>), que, por sua vez, é inferior à do negro de fumo puro (0,97 S.cm<sup>-1</sup>).

A comparação dos dados da Tabela 2 mostra claramente a sinergia entre o NF e a POMA, resultando em um compósito

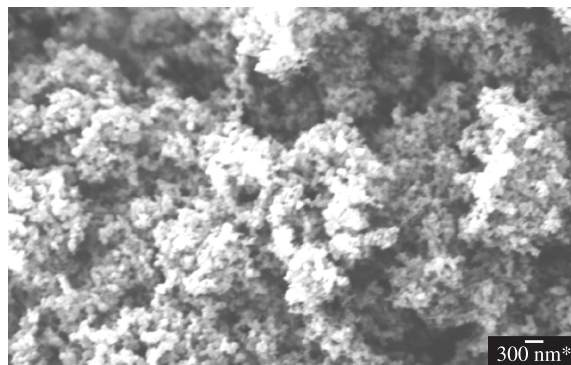
particulado com melhores características de condução elétrica em relação ao polímero puro e ao próprio negro de fumo. O aumento da condutividade dos compósitos NF/POMA, em relação ao polímero puro, é atribuído ao fato do polímero estar distribuído em uma maior área superficial, conferida pelas partículas de negro de fumo, e não na forma de aglomerados com aspecto de flocos e de maior dimensão, como mostra a Figura 3. A associação dos parâmetros: (a) melhor distribuição do polímero sintetizado sobre as partículas de NF com a (b) a natural conectividade interpartículas

**Tabela 1.** Relação entre refletividade e a porcentagem da energia absorvida<sup>[36]</sup>.

Atenuação da radiação (dB)	Absorção da radiação incidente (%)
0	0
-3	50
-10	90
-15	96,9
-20	99
-30	99,9
-40	99,99



**Figura 3.** MEV da POMA como sintetizada.

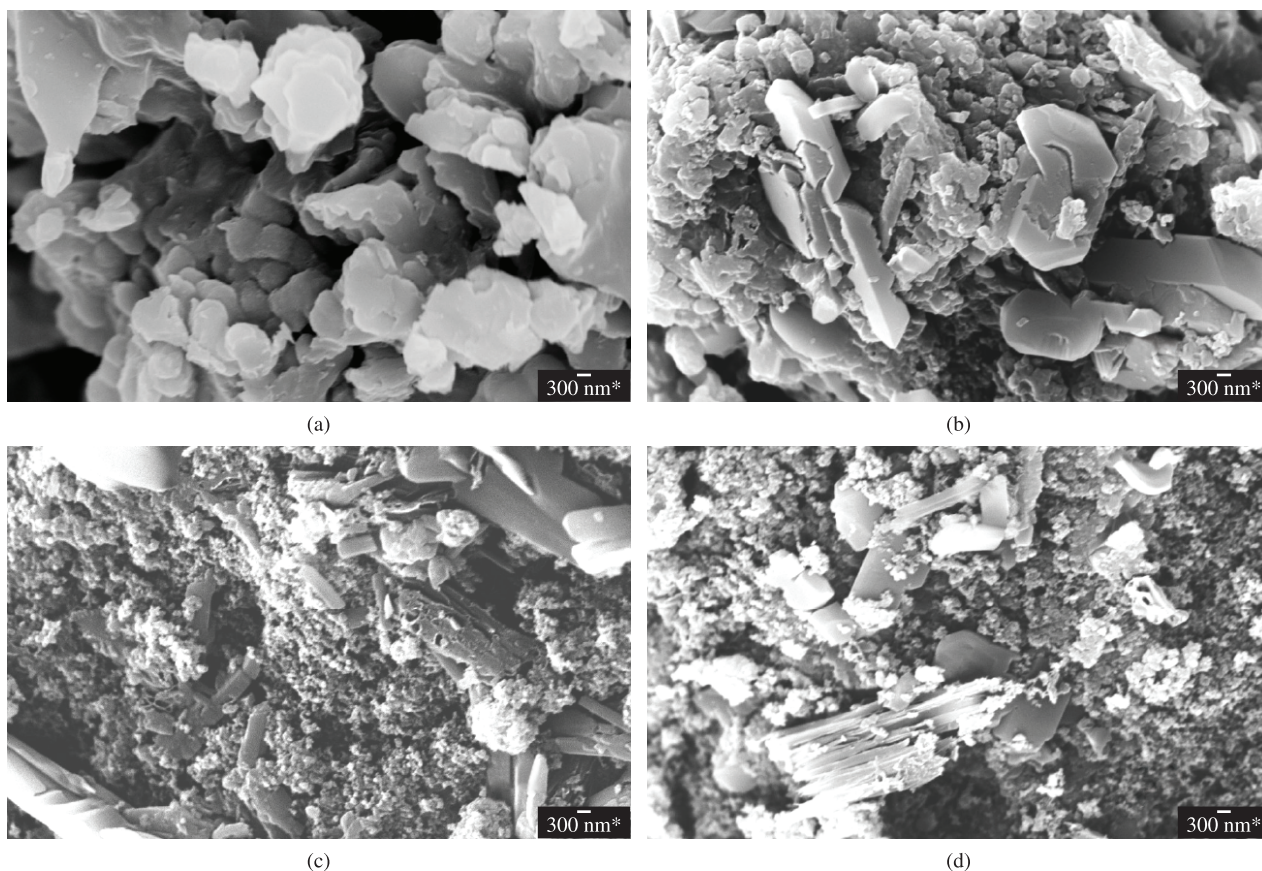


**Figura 4.** MEV do negro de fumo utilizado na síntese.

**Tabela 2.** Valores de condutividade elétrica da POMA e dos compósitos NF/POMA.

% de negro de fumo	Condutividade (S.cm <sup>-1</sup> )
0 (POMA pura)	1,7 × 10 <sup>-2</sup> ± 0,1
1	2,3 × 10 <sup>-1</sup> ± 0,1
5	8,0 × 10 ± 0,1
10	4,5 × 10 ± 0,1
20	2,5 × 10 ± 0,1
100	9,7 × 10 <sup>-1</sup> ± 0,1





**Figura 5.** MEV do composto condutor NF/POMA com (a) 1%, (b) 5%, (c) 10% e (d) 20% (m/m) de negro de fumo. Aumento de 20.000x.

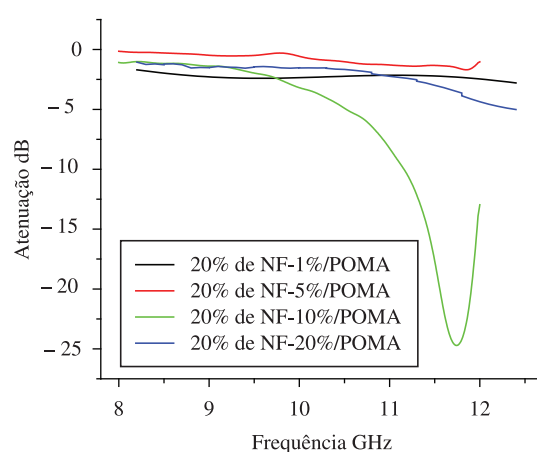
que esse material carbonoso possui, cria caminhos de condução que acarretam no aumento da condutividade elétrica do composto resultante.

A análise da Tabela 2 mostra também que o aumento da porcentagem de negro de fumo no composto não contribui de maneira linear para o aumento da condutividade do composto, pelo contrário, prejudica esta propriedade a partir da adição de 10% em massa de negro de fumo no meio reacional. Assim, no presente estudo, a amostra com 5% em massa de NF é a que apresenta o melhor desempenho com relação à condutividade elétrica ( $80 \text{ S. m}^{-1}$ ). Correlacionando estas medidas com as observações feitas por MEV sugere-se que as amostras com maior quantidade de negro de fumo apresentam regiões mais ricas nessas particuladas, sem que essas estejam recobertas pelo polímero condutor, contribuindo, assim, para diminuir a condutividade elétrica do material.

Durante a execução destas medidas verificou-se ainda que as amostras preparadas apenas com a POMA rompiam-se mais facilmente em relação às preparadas com NF/POMA. De acordo com esse fato, foi possível observar que o negro de fumo contribuiu para melhorar a resistência mecânica dos corpos de prova de composto condutor, com uma melhor consolidação das pastilhas utilizadas nestas medidas.

#### Medidas de refletividade

A avaliação da atenuação da radiação eletromagnética na faixa de micro-ondas pelos materiais preparados em resina epóxi foi realizada com relação (i) à influência da concentração de negro de fumo na preparação do composto condutor e com relação (ii) à influência da concentração do composto NF/POMA na resina epóxi.



**Figura 6.** Curvas de refletividade em função da frequência das amostras com 20% de NF/POMA em resina epóxi, variando a porcentagem de negro de fumo no composto condutor. Corpos de prova com 9,0 mm de espessura.

#### Influência da concentração de negro de fumo no composto condutor

Para avaliar a influência da concentração de negro de fumo, na preparação *in situ* dos compostos condutores, foi fixada a concentração de 20% em massa de cada um dos quatro compostos, NF-1%/POMA, NF-5%/POMA, NF-10%/POMA e NF-20%/POMA, respectivamente, em resina epóxi. A Figura 6 apresenta os comportamentos medidos quanto à refletividade dessas amostras, com 9,0 mm de espessura, em relação à radiação incidente na faixa de 8,2 a 12,4 GHz.

A análise da Figura 6 mostra claramente que o compósito condutor com 10% em massa de negro de fumo apresenta o melhor desempenho na atenuação da radiação incidente, apesar deste compósito não possuir o maior valor de condutividade elétrica (Tabela 2). No caso da amostra preparada pelo uso de 20% em massa do compósito NF-5%/POMA (compósito que apresenta o maior valor de condutividade elétrica – Tabela 2) em resina epóxi, com espessura de 9,0 mm, tem-se, conseqüentemente, um compósito em resina epóxi com condutividade elétrica mais elevada, porém inadequada para realizar o casamento de impedância com a onda incidente<sup>[37]</sup>. Neste tipo de situação, a radiação eletromagnética incidente é refletida total ou parcialmente pelo material, resultando em valores de atenuação menos significativos.

Por outro lado, as amostras com NF-1%/POMA e NF-20%/POMA, menos condutoras que o NF-10%/POMA, também não apresentam um bom resultado na atenuação da onda incidente, novamente pela combinação não adequada dos valores de condutividade elétrica, espessura utilizada e ou faixa de frequências estudada. No caso da amostra com o NF-20%/POMA verifica-se a tendência de maiores valores de atenuação em frequências superiores a 12 GHz. Esse comportamento sugere que esta amostra deve apresentar melhor desempenho em frequências superiores à avaliada neste estudo. A partir destes resultados foi selecionado o compósito condutivo NF-10%/POMA para as novas determinações. No entanto, os resultados obtidos com os compósitos NF-1%/POMA, NF-5%/POMA e NF-20%/POMA não invalidam a aplicação desses materiais, sugerem sim a realização de novos experimentos, envolvendo diferentes concentrações, diferentes espessuras de amostras e avaliação em outras faixas de frequências, de modo a estabelecer condições mais adequadas de seus processamentos na obtenção de absorvedores de micro-ondas.

Vale também mencionar que, amostras preparadas pela adição de 1, 5, 10 e 20% de negro de fumo foram avaliadas. Nessa fase foi verificado que o aumento da concentração de NF na resina epóxi foi acompanhado proporcionalmente do aumento do grau de dificuldade na incorporação do volume desse aditivo na matriz de resina epóxi e de preparação dos corpos de prova. As amostras com 1, 5 e 10% em massa de NF foram caracterizadas e mostraram valores de refletividade pouco significativos (<2,0 dB), com perfis de curvas semelhantes aos observados na Figura 6 para a amostra com NF-5%/POMA.

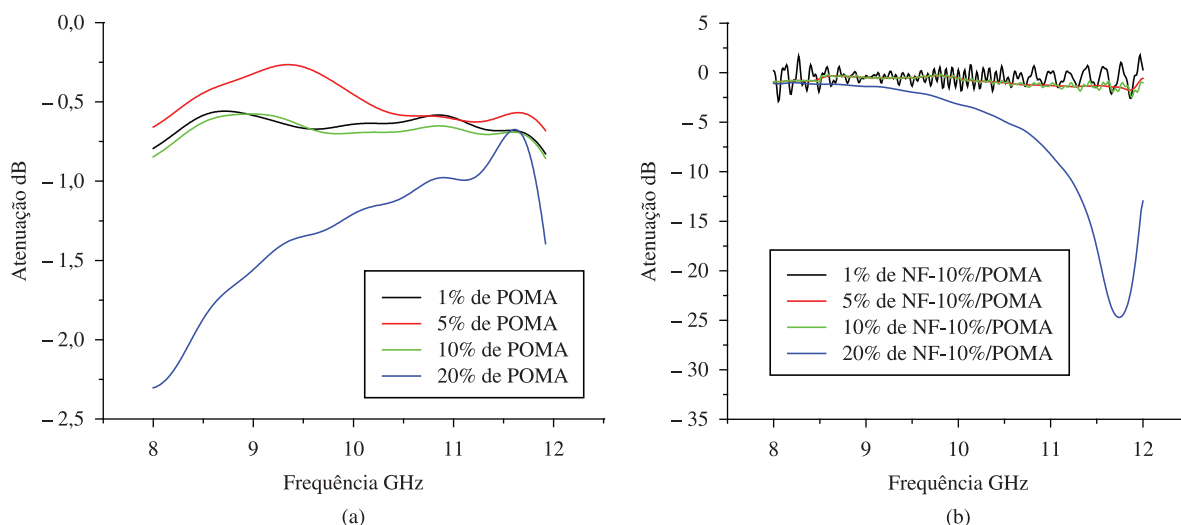
### *Influência da concentração do compósito NF/POMA na resina epóxi*

A Figura 7 mostra o estudo da influência da concentração da POMA e do compósito NF-10%/POMA de corpos de prova com 9,0 mm de espessura, preparados em resina epóxi, nas concentrações de 1, 5, 10 e 20% em massa desses aditivos, respectivamente. A Figura 7a apresenta as curvas de atenuação em função da frequência para a amostra de POMA, com espessura de 9,0 mm. A análise desta figura, de uma maneira geral, mostra que os materiais preparados com a POMA em resina epóxi apresentam baixo desempenho, com resultados inferiores a -2,5 dB de atenuação, que correspondem a valores de absorção inferiores a 50% de atenuação, conforme mostra a Tabela 1. Em se tratando das diferentes porcentagens de POMA nos corpos de prova verifica-se que a amostra com 20% em massa apresenta o melhor resultado, atenuando -2,5 dB em torno de 8 GHz. As amostras com 1, 5 e 10% em massa de POMA mostram valores de refletividade inferiores a -1 dB, resultados esses considerados desprezíveis para serem utilizados como absorvedores de micro-ondas.

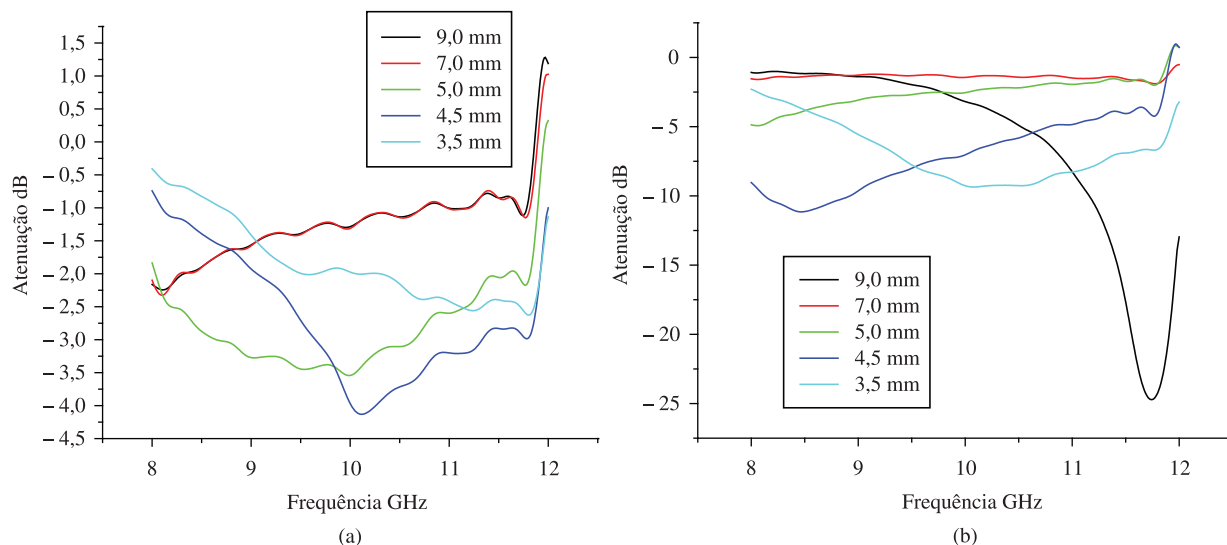
A Figura 7b mostra as curvas de refletividade das amostras de resina epóxi aditada com o compósito condutivo NF-10%/POMA, nas concentrações de 1, 5, 10 e 20% em massa, na espessura de 9,0 mm. A comparação das Figuras 7a, b mostra claramente a vantagem da utilização do compósito NF-10%/POMA em comparação ao polímero condutor puro. Neste caso, a Figura 7b mostra ainda que o corpo de prova com 20% do compósito NF-10%/POMA apresenta refletividade em torno de -25 dB, que corresponde a, aproximadamente, 99,5% de atenuação da onda incidente na frequência de 11,7 GHz.

A Figura 8 ilustra o estudo da influência da espessura dos corpos de prova preparados com 20% em massa de POMA e com 20% do compósito NF-10%/POMA em resina epóxi. Em ambos os casos, verifica-se o efeito da espessura na preparação de materiais absorvedores de micro-ondas, como já prevê a literatura<sup>[37,38]</sup>.

A Figura 8a mostra que os melhores comportamentos de atenuação da onda eletromagnética são observados para as amostras com espessuras de 4,5 e 5,0 mm, onde tem-se o efeito de ressonância em torno da frequência de 10 GHz com a atenuação em torno de -4,2 dB, que corresponde a um pouco mais que 50% (Tabela 1) de absorção da energia da radiação eletromagnética incidente. Ainda nesta figura observa-se que as amostras com 9,0 e 7,0 mm



**Figura 7.** Curvas de refletividade em função da frequência das amostras de (a) POMA/resina epóxi e (b) NF-10%/POMA/resina epóxi, com espessura de 9,0 mm.



**Figura 8.** Curvas de refletividade em função da frequência para as amostras com (a) 20% (m/m) de POMA e (b) 20% (m/m) de NF-10%/POMA em resina epóxi, com diferentes espessuras.

apresentam o pior desempenho na atenuação da radiação incidente, ocorrendo a sobreposição das curvas. A amostra com 5,0 mm de espessura apresenta comportamento de absorvedor do tipo banda larga absorvendo em torno de 50% de energia da radiação incidente entre 9 e 10 GHz.

A análise das curvas da Figura 8b mostra a influência significativa do parâmetro espessura do material no processamento de MARE. Para uma mesma formulação, o desempenho do material varia de, aproximadamente, zero a 99,5% de atenuação. Isto evidencia que no mecanismo de interação onda-matéria, além da influência das características do aditivo utilizado na matriz polimérica, existe a influência da espessura, no denominado efeito de cancelamento de fases da onda<sup>[36-38]</sup>. A análise desta figura mostra, ainda, que o máximo de atenuação também varia com a frequência, por exemplo, as amostras com espessuras de 3,5 e 4,5 mm apresentam atenuação em torno de 10 dB (90% de absorção) em torno de 10,2 e 8,4 GHz, respectivamente. Já a amostra com 9,0 mm mostra o excelente desempenho de 99,5% em 11,7 GHz.

## Conclusão

De acordo com o estudo realizado é possível observar que o polímero condutor poli(o-metoxianilina) mostra baixo valor de condutividade elétrica ( $0,017 \text{ S.cm}^{-1}$ ) e baixo desempenho como centro absorvedor de radiação eletromagnética na faixa de micro-ondas (8,2-12,4 GHz) (até 50% de atenuação da radiação incidente). No entanto, a preparação de compósitos condutores pela impregnação de partículas de negro de fumo com este polímero, via reação de polimerização *in situ*, resulta em compósitos com maiores valores de condutividade elétrica ( $0,23\text{-}80 \text{ S.cm}^{-1}$ ) e, também, com melhor desempenho na atenuação de micro-ondas. Materiais absorvedores processados com 20% em massa do compósito NF-10%/POMA apresentam valores de atenuação de até 99,5% em 11,7 GHz. O estudo da influência da espessura de corpos de prova preparados com o compósito NF-10%/POMA mostra, para uma mesma formulação de absorvedor, que a atenuação da radiação incidente varia de zero a 99,5%.

## Agradecimentos

As autoras agradecem ao SO Rogério D. Gonçalves pelo apoio na obtenção das micrografias, ao técnico Adriano L. de Paula

pela ajuda na caracterização eletromagnética das amostras e ao SO Jefferson R. Tavares pelo tratamento das micrografias e aos órgãos de fomento CNPq (Processo nº 305478/2009-5) e FAPESP (Processo nº 2010/09527-3).

## Referências Bibliográficas

1. Nohara, E. L. & Rezende, M. C. - "Materiais absorvedores de radiação eletromagnética (2-40 GHz) baseados em ferrocarbonila", in: Anais do 8º Simpósio de Guerra Eletrônica - SIGE, 8. p.1-3. ITA, São José dos Campos (2007).
2. Faez, R.; Martin, I. M.; De Paoli, M. A. & Rezende, M. C. - Polímeros, **X**, p.130 (2000).
3. Faez, R.; Martin, I. M.; Rezende, M. C. & De Paoli, M. A. - Polímeros, **XI**, p.121 (2001).
4. Rezende, M. C.; Dias, J. C. & Martin, I. M. - Mater. Res., **1**, p.1 (2003).
5. Silva, V. A.; Pereira, J. J.; Nohara, E. L. & Rezende, M. C. - J. Aerosp. Technol. Manag., **1**, p.255 (2009). <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.2009.0102255263>
6. Gama, A. M. & Rezende, M. C. - J. Aerosp. Technol. Manag., **2**, p.59 (2010). <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.2010.02015962>
7. Rezende, M. C., Faez, R., De Paoli, M. A. & Martin, I. M. - Synthetic Met., **119**, p.435 (2001).
8. Rezende, M. C.; Faro, J. O.; Martin, I. M.; Franchitto, M. & Faez, R. - IEEE trans. microwave theor. tech., **1**, p.137 (2001).
9. Biscaro, R. S.; Botelho, E. C.; Takahashi, M. F. K.; Faez, R. & Rezende, M. C. - Polímeros, **12**, p.318 (2002).
10. Faez, R.; Martin, I. M.; Paoli, M. A. & Rezende, M. C. - J. Appl. Polym. Sci., **83**, p.1568 (2002). <http://dx.doi.org/10.1002/app.10133.abs>
11. Biscaro, R. S.; Nohara, E. L.; Peixoto, G. G.; Faez, R. & Rezende, M. C. - Proc. I.E.E.E., **1**, p.355 (2003).
12. Rezende, M. C.; Martins, C. R.; De Paoli, M. A. & Faez, R. - Polym. Bull.(Berlin), **51**, p.321 (2004).
13. Faez, R.; Reis, A. D.; Soto-Oviedo, M. A.; Rezende, M. C. & De Paoli, M. A. - Polym. Bull. (Berlin), **55**, p.299 (2005). <http://dx.doi.org/10.1007/s00289-005-0433-y>
14. Martins, C. R.; Faez, R.; Rezende, M. C. & De Paoli, M. A. - J. Appl. Polym. Sci., **100**, p.681 (2006). <http://dx.doi.org/10.1002/app.23843>



15. Folgueras, L. C.; Nohara, E. L.; Faez, R. & Rezende, M. C. - *Mat.Res.*, **10**, p.95 (2007). <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392007000100020>
16. Folgueras, L. C. & Rezende, M. C. - *Mat. Res.*, **11**, p.245 (2008). <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392008000300003>
17. Biscaro, R. S.; Faez, R. & Rezende, M. C. - *Polym. Advan. Technol.*, **19**, p.151 (2008). <http://dx.doi.org/10.1002/pat.990//dx.doi.org/10.1002/pat.990>
18. Folgueras, L. C.; Alves, M. A. & Rezende, M. C. - *Mat. Res.*, **13**, p.197 (2010). <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392010000200013>
19. Raposo, M.; Oliveira Junior, O. N. - *Langmuir*, **18**, p.6866 (2002). <http://dx.doi.org/10.1021/la0259048>
20. Patil, S. J. R.; Mahajan, M. A. & More, P. P. - *Mater. Lett.*, **39**, p.298 (1999). [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-577X\(99\)00024-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-577X(99)00024-5)
21. Patil, D.; Patil, P.; Seo, Y. K. & Hwang, Y. K. - *Sensor. Actuat. B – Chem.*, **148**, p.41 (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2010.04.046>
22. Kitani, A.; Satoguchi K.; Iwai K. & Ito S. - *Synthetic Met.*, **102**, p.1171 (1999). [http://dx.doi.org/10.1016/S0379-6779\(98\)01009-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0379-6779(98)01009-1)
23. Eiras, C., Passos, I. N. G., De Brito, A.,C.,F., Santos Junior, J. R., Zucolotto, V., Oliveira Junior, O. N., Kitagawa, I. L., Constantino, C. J. L. & Cunha, H. N. - *Quím. Nova*, **30**, p.1158 (2007). <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000500020>
24. Gazotti, W. A. - “*Preparação e caracterização da poli(o-metoxianilina) dopada com ácidos funcionalizados e sua utilização em aplicações de interesse tecnológico*”, Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Brasil (1988).
25. Bernard, M. C.; Hugot-Le Goff, A.; Arkoub, H. & Saidani, B. - *Electrochim. acta*, **52**, p.5030 (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2007.02.019>
26. Monkman, A. P.; Adams, P. N.; Laughlin, P. J. & Holland, E. R. - *Synthetic Met.*, **69**, p.183 (1995). [http://dx.doi.org/10.1016/0379-6779\(94\)02411-Q](http://dx.doi.org/10.1016/0379-6779(94)02411-Q)
27. Galiani, P. D.; Malmonge, J. A.; Santos, D. P. & Malmonge, L. F. - *Polímeros*, **17**, p.93 (2007).
28. Melo, R. M.; Dantas, N. O.; Souza, N. C.; Oliveira Junior, O. N.; Faria, R. M. & Marletta, A. - *Quím. Nova*, **26**, n.2, p.177 (2003). <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422003000200006>
29. Hasik, M.; Wenda, E.; Paluszkiwicz, C.; Bernasik, A. & Camra, J. - *Synthetic Met.*, **143**, p.341 (2004). [Http://dx.doi.org/10.1016/j.synthmet.2003.12.020](http://dx.doi.org/10.1016/j.synthmet.2003.12.020)
30. Mattoso, L. H. C. & Bulhões, L. O. S. - *Synthetic Met.*, **52**, p.171 (1992). [http://dx.doi.org/10.1016/0379-6779\(92\)90305-3](http://dx.doi.org/10.1016/0379-6779(92)90305-3)
31. Wu, K. H.; Ting, T. H.; Wang, G. P.; Ho, W. D. & Shih C. C. - *Polym. Degrad. Stabil.*, **93**, p.483 (2008). [Http://dx.doi.org/10.1016/j.polyimdeggradstab.2007.11.009](http://dx.doi.org/10.1016/j.polyimdeggradstab.2007.11.009)
32. Silva, C. A. - “*Purificação e caracterização de nanotubos de carbono para utilização como suporte de catalisadores em eletrodos de células a combustível*”. Monografia de Final de Curso, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/SP, Brasil (2006).
33. Carmo, M. - “*Preparação, caracterização e avaliação de carbono funcionalizado para aplicações em célula combustível*”. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/SP, Brasil (2008).
34. Giroto, E. M. & Santos, I. A. - *Quím. Nova.*, **25**, p.639 (2002). <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000400019>
35. Standard Test for Measurement Methods for Reflectivity of Electromagnetic Wave Absorbers in Milimetre Wave Frquency (IEC 46F/65/CDV:2007) German Version. DIN EN 62431.
36. Barton D. K. & Leonov S. A. - “*Radar Technology Encyclopedia*”. London, Artech House (1997).
37. Balanis C. A. - “*Advanced Engineering Electromagnetic*”, John-Wiley, New York (1989).
38. Knott, E. F.; Scheffer, J. F. & Tuley, M. T. - “*Radar cross section: its prediction, measurement, and reduction*”. Dedham, MA, Artech House (1985).

Enviado: 03/05/11  
Reenviado: 29/08/11  
Aceito: 29/09/11