

## Análise da atenuação da radiação eletromagnética em amostras de ferrita aditivada com nitreto de boro, na faixa de 8,2 a 12,4 GHz.

M. K. H. Yassuda\*; M. P. S. Romain\*\*

\* Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Divisão de Materiais (AMR) – Praça Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50 – CEP 12228-904, São José dos Campos/SP – Brasil; miriammkh@iae.cta.br.

\*\* Universidade de São Paulo (USP).

### Resumo

*A ferrita é um óxido cerâmico, que pode ser usada como centro absorvedor de radiação eletromagnética, na faixa de micro-ondas, devido à combinação de suas propriedades magnéticas e dielétricas. Neste trabalho, pós de ferritas aditivadas com nitreto de boro (BN) foram misturados e moídos em moinho de alta energia por uma hora. A proporção de adição de BN foi de 1, 5 e 10% em massa. A mistura foi incorporada à resina epoxi, conformada em moldes retangular e submetida à cura, em temperatura ambiente. As amostras foram submetidas à retífica para garantir o paralelismo e para desbastar a superfície, a fim de poder analisá-las em diferentes espessuras. A atenuação da radiação eletromagnética foi medida em equipamento de guia de ondas retangular, na faixa de 8,2 a 12,4 GHz.*

Palavras-chave: ferrita, nitreto de boro, material absorvedor de radiação eletromagnética, micro-ondas.

### Introdução

Material absorvedor de radiação eletromagnética (MARE) é uma classe especial de materiais capazes de atenuar a energia de ondas eletromagnéticas incidentes sobre ele, transformando-a em outro tipo de energia, mais comumente, a térmica [1-4]. Um MARE pode ser obtido pelo uso de centros absorvedores com perdas dielétricas (quando interage com o campo elétrico), ou magnéticas (com o campo magnético), ou a combinação de ambos, denominados materiais absorvedores híbridos [2].

O primeiro registro de utilização dos materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) foi na Segunda Guerra Mundial, quando foram utilizados pela marinha alemã para proteger submarinos da detecção de radares inimigos. Ao longo dos tempos, os MAREs têm ampliado o seu uso, e podem ser aplicados na

indústria aeroespacial, em artefatos médicos, telecomunicações e eletrodomésticos [2]. Para cada aplicação há uma série de requisitos de desempenho para o MARE: faixa de frequências, nível de atenuação, resistência aos possíveis danos causados pela interação com o meio ambiente (ultravioleta, luz solar, umidade, etc.), resistência aos ciclos térmicos, adesão em substratos (por exemplo, adesão à estrutura metálica), textura, elasticidade, rigidez, estabilidade dimensional, tempo de vida útil, efeito de envelhecimento nas propriedades eletromagnéticas, entre outros [3].

As ferritas são cerâmicas magnéticas, que contêm ferro, oxigênio e outro elemento metálico, com fórmula química tipo  $M^{2+}[Fe_2^{3+}]O_4$  [3]. Por serem eficientes centros absorvedores de radiação eletromagnética, tem atraído muita atenção nas últimas décadas [3-10], e devido aos crescentes avanços em métodos para seu processamento, acredita-se que ainda haja um futuro muito promissor para sua aplicação na frequência de micro-ondas [5].

As ferritas podem ser classificadas conforme sua estrutura cristalina como: granada, hexagonal ou espinélio. As do tipo espinélio têm sido frequentemente usadas como centro de absorção, na composição de MARE, na faixa de 3-30 GHz [4], inseridas em matriz polimérica (tintas, mantas e espumas), com possibilidade de atenuação de caráter de bandas estreitas e largas [3].

O nitreto de boro também é um material cerâmico e é considerado o segundo material de maior dureza, perdendo apenas para o diamante, em temperatura ambiente, mas quimicamente mais estável. Até a redação deste trabalho, não foram encontrados publicações de pesquisa envolvendo adição de nitreto de boro em MARE, talvez porque ele não tenha demonstrado potencialidade como centro absorvedor de radiação eletromagnética.

Neste trabalho, pós de nitreto de boro foram adicionados à ferrita de manganês e zinco para confecção de MARE, a fim de estudar o efeito desta adição nas características de atenuação da radiação eletromagnética, na faixa de 8,2 a 12,4 GHz.

## **Material e métodos**

Para estudar o efeito da adição de nitreto de boro a ferrita em aplicação como MARE foram preparadas seis amostras, conforme a Tabela 1:

Tabela 1- Composições das amostras (% em massa). O pó de BN é da H. C. Starck, e o da ferrita de manganês e zinco ( $Mn_{0,56}Zn_{0,44}Fe_2O_4$ ) da R. Sontage.

Amostra	Ferrita	BN
100BN	zero	100
90F	90	10
95F	95	5
99F	99	1
100F	100	zero

Os pós (Tabela1) foram misturados e moídos em moinho de alta energia (SPEX/8000M) durante uma hora, em porta amostra cilíndrico de polietileno com esferas de aço. Ao material cerâmico foram adicionados a resina epóxi e o aditivo de cura (Araldite, Brascola), na proporção de 1:1 em massa. Estes materiais foram manipulados até formar uma massa homogênea, e a seguir, transferidos para moldes com dimensões de 22,86 mm de comprimento e 10,16 mm de largura, conforme as dimensões internas do porta amostra do guia de ondas para banda X, e permaneceram em processo de cura por dois dias em temperatura ambiente (~26°C). As amostras foram retiradas e retificadas até as espessuras de: 5,5 mm; 4,5 mm; 4,0 mm; 3,5 mm e 3,0 mm.

A caracterização das amostras foi realizada com medidas de refletividade (atenuação) em equipamento de guia de ondas (Analisador de Rede Vetorial - Network Analyser System, HP8510C), na faixa de frequência de 8,2 a 12,4 GHz (banda X). O corpo de prova foi inserido em porta amostra anexado a uma placa metálica de alumínio (100% refletora).

A atenuação ( $A_t$ ) pode ser expressa [11], na seguinte equação (A):

$$A_t \text{ (dB)} = -10 \log P_1/P_2 \text{ (A)},$$

onde  $P_1$ = potência recebida e  $P_2$ = potência enviada.

A partir da equação (A), pode-se calcular o percentual de atenuação:

$$A_t \text{ (%) } = 100 \cdot (1 - 10^{A_t \text{ (dB)}/10}) \text{ (B)}$$

## Resultados e discussão

Os gráficos estão representados nas Figuras de 1 a 5, em ordem decrescente de espessura. Em todas as Figuras, podem ser observadas que as curvas de 100BN apresentam atenuações pouco representativas, inferiores a -0,60 dB, correspondendo a menos de 13% de atenuação. A reta no zero, denominada “Referência”, corresponde a uma superfície 100% refletora, ou seja, a resposta da incidência sobre uma superfície metálica. Isto significa que o nitreto de boro praticamente não absorve a radiação que foi incidida sobre ele, a radiação atravessa e reflete na placa anexa a ele, e volta ao coletor de sinal.

Na Figura 1, correspondente aos ensaios com espessura de 5,5 mm. O formato das curvas é aproximadamente hiperbólico com a atenuação máxima em 8,2 GHz, que decresce com o aumento da frequência até convergir a valores próximos em 12,4 GHz ( $-1,43 \pm 0,19$  dB, ou de 24,8 a 31,1% de atenuação). As curvas de 90F e 95F são bem próximas, enquanto as curvas das amostras 100F e 99F seguem praticamente equidistantes uma da outra. Em 8,2 GHz, a amostra 90F apresentou a melhor atenuação (-8,77 dB, ou 86,7% de atenuação), seguida pela 95F (-8,22 dB, ou 84,9% de atenuação), 99F (-5,13 dB, ou 69,3% de atenuação) e 100F (-4,40 dB, ou 63,9% de atenuação).

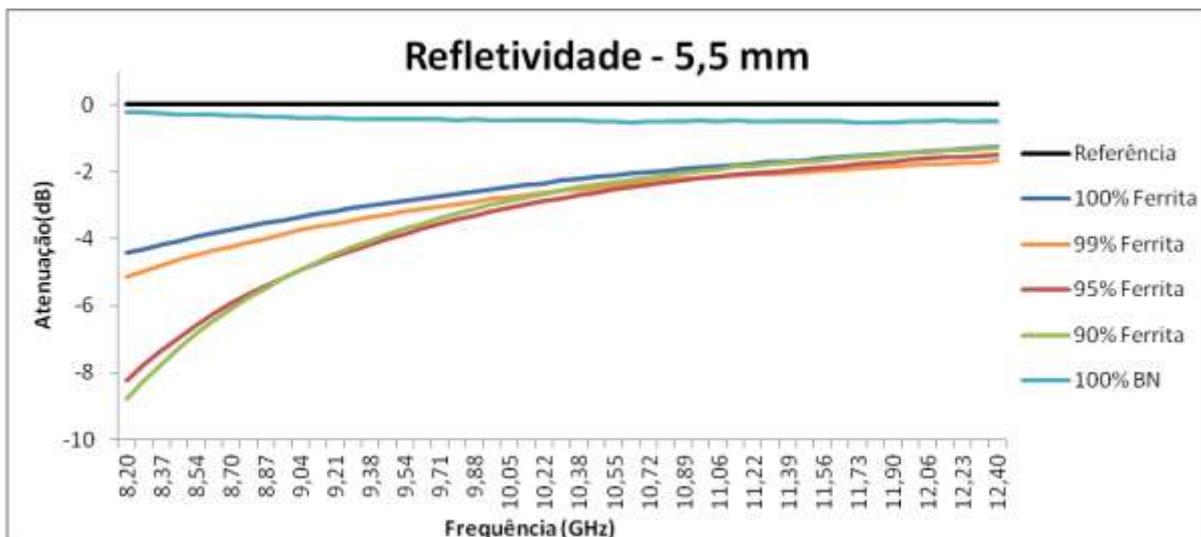


Figura 1 – Comparativo entre as amostras com espessura de 5,5 mm.

A Figura 2 refere-se à espessura de 4,5 mm, onde se verifica que a amostra 90F tem uma leve perda na atenuação em 8,2 GHz, em relação ao observado na

Figura 1, enquanto as demais passam a ter atenuações melhores que a dela. As curvas começam a ter o aspecto parabólico com concavidade voltada para cima, como se observa principalmente nas amostras 90F e 95F. As curvas interceptam entre si, o que resulta em regiões em que uma torna-se mais atenuadora que a outra. A 99F tem em valor absoluto, a máxima atenuação para esta espessura, no intervalo de frequência analisado: -16,4 dB, ou 97,5%, em 8,2 GHz. Já a amostra 95F apresenta um intervalo maior de atenuação significativamente interessante, se forem observados resultados para frequências acima de 8,4 GHz, quando ela passa a ter absorção melhor que a 99F. Por exemplo: a 95F possui atenuação de no mínimo de -10,0 dB, ou 90,0%, entre as frequências de 8,2 a 9,2 GHz; enquanto a 99F de 8,2 a 8,7 GHz; e 100F de 8,2 a 8,5 GHz. A partir de 10,9 GHz, há pouca diferença entre as curvas e todas apresentam valores inferiores a -4,0 dB (60%), e elas praticamente convergem em 12,4 GHz (-1,88 ± 0,09 dB, 33,8 a 36,5%).

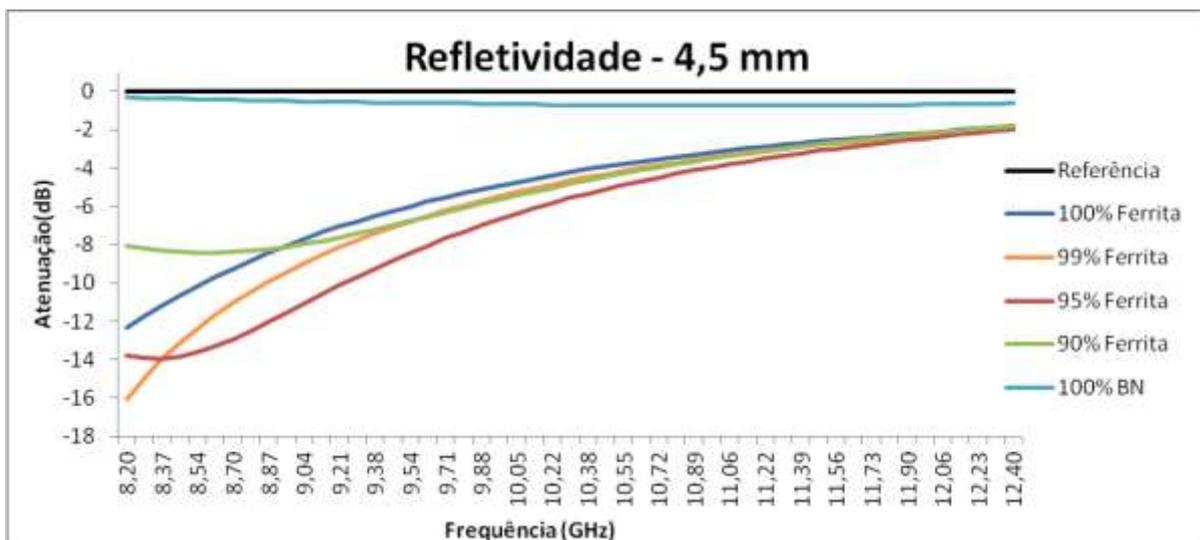


Figura 2 – Comparativo entre as amostras com espessura de 5,5 mm.

A Figura 3 mostra a refletividade para amostras com 4,0 mm. Nesta espessura todas as amostras apresentam curvas com concavidade voltada para cima. Nota-se a inversão total na ordem das curvas em relação à Figura 1. O aumento na quantidade de aditivo resulta na diminuição da atenuação e no aumento da largura do pico. De 8,4 a 8,5 GHz a amostra 100F possui atenuação de pelo menos -30,0 dB, ou 99,9%; e 8,2 a 8,8 GHz, mínimo de -20,0 dB, ou 99,0% de atenuação. A 99F não possui atenuação na faixa de -30 dB, em compensação se for analisado para atenuação de no mínimo -20,0 dB, para a região de 8,7 a 9,1 GHz, atende ao

requisito. A 95F tem atenuação de -11,6 dB (ou 93,1%), em 9,4 GHz; e pelo menos -7,5 dB (82,2%) de 8,2 a 10,7 GHz. Há sobreposição entre as curvas: até 8,8 GHz, a 100F demonstra enorme superioridade de atenuação, em relação às outras; de 8,8 a 10,0 GHz, a 99F tem melhor desempenho; de 10,1 a 11,9 GHz, a 95F possui uma leve vantagem; e a partir 12,0 GHz, e todas apresentam valores inferiores a -4,0 dB, convergindo a  $-2,8 \text{ dB} \pm 0,3 \text{ dB}$ , ou (43 a 45%).

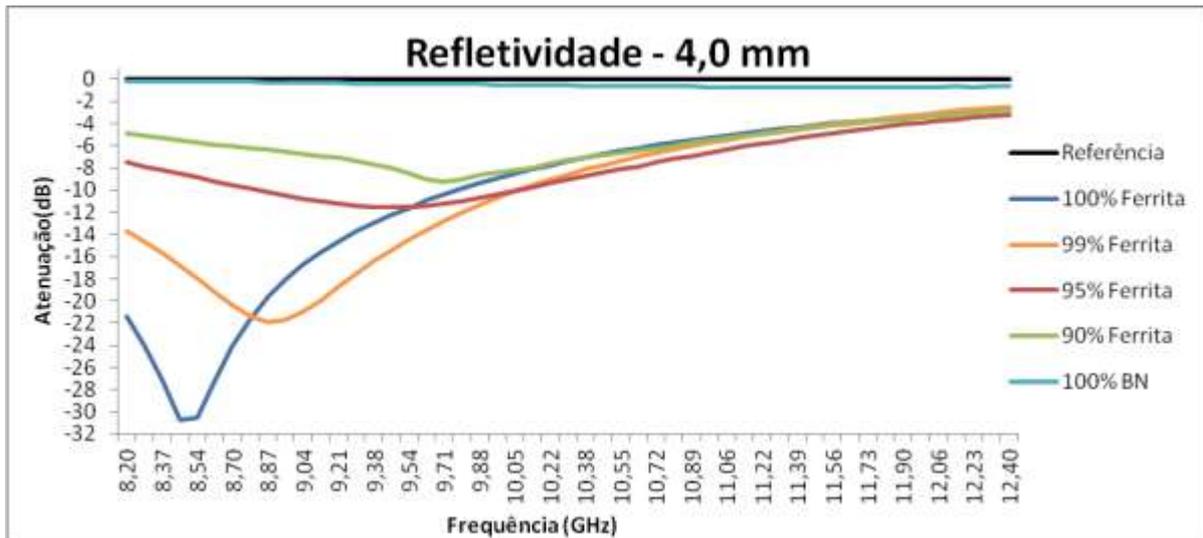


Figura 3 - Comparativo entre as amostras com espessura de 4,0 mm.

A Figura 4 mostra atenuação das amostras com 3,5 mm de espessura. A concavidade das curvas é mais aberta. As curvas estão contidas uma na outra, com deslocamento para o sentido de maior frequência, sem intersecção entre elas, ou seja, a atenuação é maior, quanto menor a quantidade de aditivo. A amostra 100F apresenta atenuação máxima menor que observado em 4,0 mm (Figura 3), entretanto se a atenuação de no mínimo de -10,0 dB, ou 90% forem suficientes, pode-se para aplicar o material de 8,4 a 10,9 GHz, enquanto em 4,0 mm, apenas de 8,2 a 9,7 GHz. Sob as estas mesmas condições, a 99F atende ao requisito (mínimo de 90% de atenuação), em 3,5 mm de 8,9 a 10,9 GHz, e em 4,0 mm de 8,2 a 10,0 GHz.

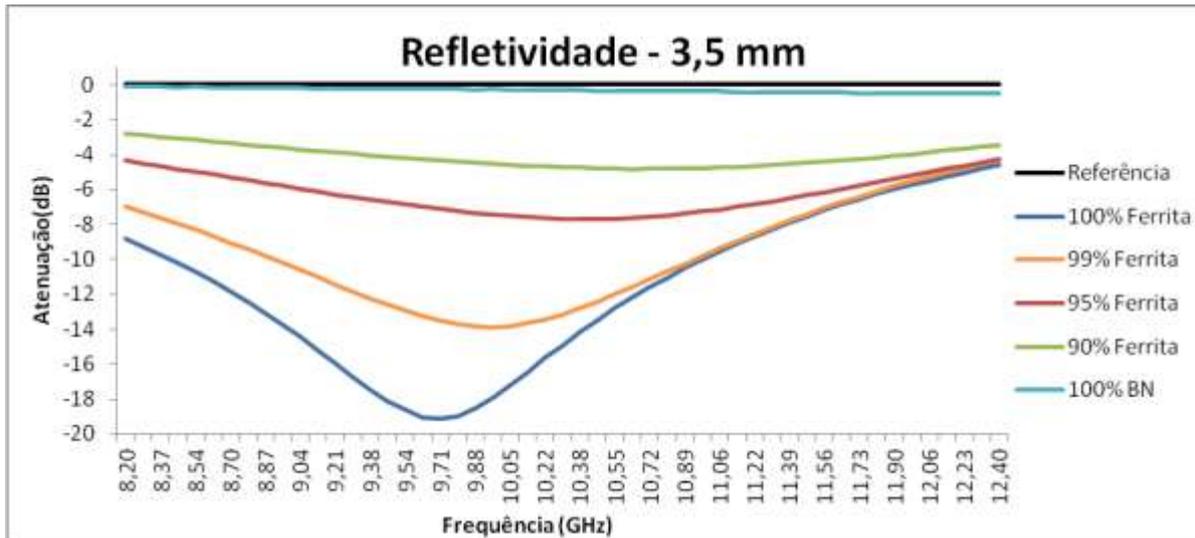


Figura 4 - Comparativo entre as amostras com espessura de 3,5 mm.

A Figura 5 apresenta as amostras com espessura de 3,0 mm. Nesta espessura, a curva da 100F está mais centralizada no intervalo de frequência. Entre 10,1 e 10,6 GHz, 100F tem atenuação de no mínimo de -15,4 dB, ou 97,1%; de 9,3 a 11,4 GHz, tem de no mínimo -10,0 dB. Há um pequeno intervalo no final do espectro, acima de 11,7 GHz, em que a 99F tem superioridade de atenuação - 8,6 dB (ou 86,2%) decaindo até -7,3 dB (ou 81,4%).

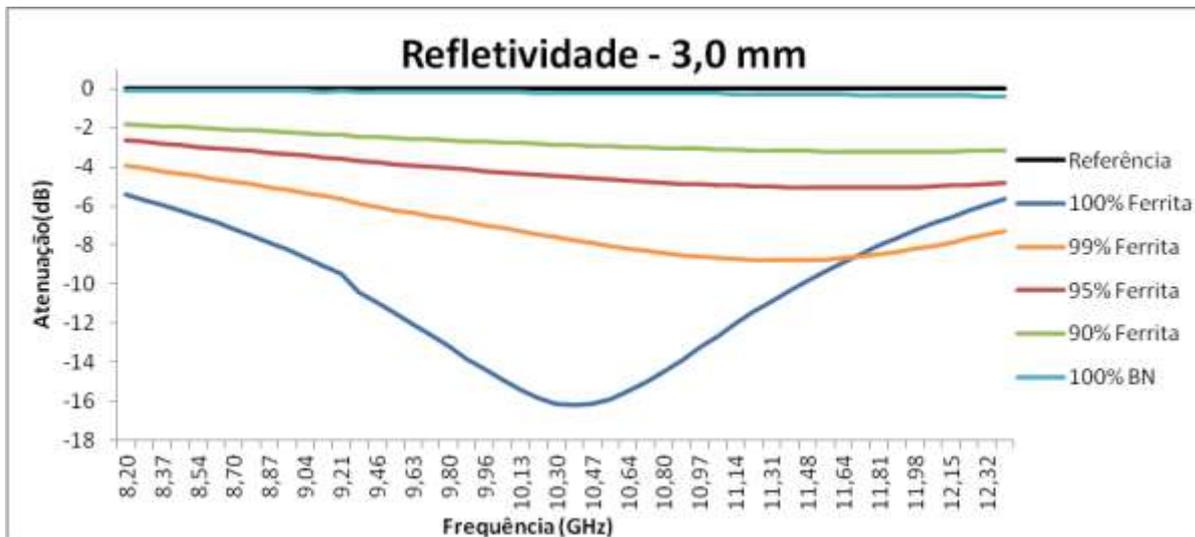


Figura 5 - Comparativo entre as amostras com espessura de 3,0 mm.

## Conclusões

Na faixa de frequência observada, o BN puro (amostra 100BN) não serve como centro absorvedor. Em espessura de 5,5 mm, as curvas de atenuação têm aspecto hiperbólico e abaixo dessa espessura, as curvas são parabólicas e com concavidade voltada para cima. À medida que diminui a espessura (de 5,5 a 3,0 mm), ocorre a inversão no poder de atenuação em relação à quantidade de aditivo inserido nas amostras. Nas espessuras de 4,5 e 5,5 mm, a adição de BN contribui para melhoria na atenuação da radiação em relação à ferrita pura. Já em espessuras menores (de 4,0 a 3,0 mm), os valores de atenuação decaem com a quantidade de aditivo. Dependendo dos requisitos de espessura, percentual de atenuação e faixa de frequência, é possível empregar MARE de ferrita de manganês e zinco com adição de BN.

## Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq-IAE) pela concessão de auxílio e incentivo ao aluno Marcos Paulo da Silva Romain.

## Referências

1. PEREIRA, J. J. Caracterização Eletromagnética de materiais absorvedores de microondas via medidas de permissividade e permeabilidade complexas na banda X. 2007. 200p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade de Taubaté, Taubaté – SP. 2007.
2. SFALSIN, A. F. Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética baseados em negro de fumo e papel celulósico na banda X (8,2 – 12,4 GHz). 2008. 112p. Dissertação – Universidade de Taubaté, Taubaté – SP. 2008.
3. DIAS, J. C et al. Absorvedores de Radiação Eletromagnética Aplicados no Setor Aeronáutico. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v15. P33-42, Junho 2000.
4. SIMÕES, R. Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética na faixa de 8 a 12 GHz. 2005. 88p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Taubaté, Taubaté-SP, 2008.

5. HARRIS, V. G. et al., Recent advances in progress and applications of microwaves ferrites. **J. Mag. Mag. Mat.** 321, p. 2035-2047, 2009.
6. CAMLEY, R. E. et al. High-frequency signal processing using magnetic layered structures. **J. Mag. Mag. Mat.**, 321, 2048– 2054, 2009.
7. CHEN, Y. et al. Giant magnetodielectric effect and magnetic field tunable dielectric resonance in spinel MnZn ferrite. **App. Phys. Lett.**, 94, 102906, 2009.
8. YANG, A. et al. Enhanced Néel temperature in Mn ferrite nanoparticles linked to growth-rate-induced cation inversion. **Nanotechnology**, 20, 185704, 2009.
9. GEILER, A. L. et al. Structural, Magnetic, and Microwave Properties of BaFe<sub>10.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub> Thin Films. **IEEE Trans. Mag.**, 44(11), 2966-9, 2008.
10. ACHER, O. Modern microwave magnetic materials: recent advances and trends. **J. Mag. Mag. Mat.**, 321, p. 2033-2034, 2009.
11. NOHARA, E. L. Materiais absorvedores de radiação eletromagnética (8-12 GHz) obtidos pela combinação de compósitos avançados dielétricos e revestimentos magnéticos. p. 31, Tese de Doutorado, ITA, São José dos Campos/SP, 2003.

Electromagnetic attenuation analysis of ferrite samples with boron nitride addition, in the frequency range from 8.2 to 12.4 GHz.

*Ferrite is a ceramic oxide, that it can be used as electromagnetic absorber center in the microwaves frequency range, due to combination of their dielectric and magnetic properties. In this work, ferrite powders additivated with boron nitride (BN) were mixed and milled in the high energy milling for one hour. The amounts of BN were 1, 5 e 10 %wt. This mixture was added to epoxy resin, shaped by rectangular molds and subjected to curing, at room temperature, about 26°C. The samples were grinded to ensure parallelism and smooth surface by grinding machine, to make possible analysis in different thickness. The electromagnetic attenuation was measured on rectangular waveguide equipment, in the frequency range from 8.2 to 12.4 GHz.*

Key-words: ferrite, boron nitride, radar absorbing material, microwaves.