

DEPOSIÇÃO DE FILMES METÁLICOS DEPOSITADOS VIA TRIODO MAGNETRON SPUTTERING SOBRE POLI (TEREFTALATO DE ETILENO) COMO ATENUADOR DA ENERGIA DA ONDA ELETROMAGNÉTICA (8-12 GHz)⁽¹⁾

Viviane Lilian Soethe⁽²⁾
Evandro Luis Nohara⁽³⁾
Mirabel Cerqueira Rezende⁽⁴⁾
Luís César Fontana⁽⁵⁾

Resumo

O Triodo Magnetron Sputtering (TMS) é um sistema de deposição física de filmes, constituído de uma tela móvel aterrada situada entre o catodo (alvo) e o anodo (substrato). Alterando-se a posição relativa desta tela ao catodo, alteram-se algumas das características do plasma como, por exemplo, a tensão de ignição. Por meio de um estudo realizado anteriormente observou-se que é possível controlar independentemente em um sistema de TMS, duas das principais características do plasma: tensão e corrente do alvo, o que torna este sistema uma alternativa viável para a deposição filmes metálicos sobre substratos poliméricos. Após a escolha de algumas condições de deposição, realizou-se um recobrimento com Al e com uma liga de níquel-cromo (Inconel) sobre substrato de poli(tereftalato de etileno), com a finalidade de se estudar a atenuação da energia da onda eletromagnética, na faixa de frequência compreendida entre 8 e 12 GHz. Este comportamento atenuador torna este material passível de ser utilizado como material absorvedor de radiação eletromagnética (MARE), sendo ampla a sua utilização para o controle de radiação eletromagnética indesejada em diversos equipamentos. Por meio do estudo da influência da espessura da camada e do material que constitui o filme (Al ou Inconel) nas características atenuadoras deste, pode-se verificar que esta teve um máximo de 13%. Por meio deste estudo, verificou-se que filmes metálicos podem ser utilizados com materiais absorvedores de radiação eletromagnética, desde que se conheça a espessura ideal de trabalho e outras características intrínsecas do mesmo.

Palavras-chave: Triodo-Magnetron-Sputtering (TMS); Filmes finos; Material absorvedor de radiação eletromagnética; Caracterização eletromagnética.

-
- (1) 60º Congresso Anual da Associação Brasileira de Materiais (ABM), 25-28 de Julho de 2005, Belo Horizonte, Minas Gerais.
 - (2) Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA, Divisão de Materiais, Pça. Mal. Eduardo Gomes, nº 50. 12228-900 - São José dos Campos - SP BRASIL. Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela UDESC Joinville - SC. E-mail: soetheviviane@ig.com.br.
 - (3) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n, 12060-040, Taubaté (SP), Brasil. Doutor em Ciências pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica - 2003. E-mail: enohara@uol.com.br
 - (4) Centro Técnico Aeroespacial, Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Materiais, Pça. Mal. Eduardo Gomes, nº 50. 12228-900 - São José dos Campos - SP BRASIL. Doutora em Ciências pela USP – 1991. E-mail: mirabel@iae.cta.br
 - (5) Departamento de Física, Universidade do Estado de Santa Catarina. Campus Universitário Professor Avelino Marcante, s/n, 89223-100, Joinville, Santa Catarina, Brasil. Doutor em Física pela UFSC (Universidade do Estado de Santa Catarina). E-mail: dfi2lcf@joinville.udesc.br

INTRODUÇÃO

A metalização de materiais poliméricos é atualmente uma das técnicas que vêm se destacando em meio a outras por proporcionar melhoria nas características superficiais dos polímeros. Alguns exemplos destas aplicações constituem-se na substituição de displays de equipamentos eletro-eletrônicos feitos de vidros por aqueles constituídos de polímeros metalizados (FORTUNATO, 2002), recobrimento de equipamentos aeroespaciais em órbita na Terra com a finalidade de reduzir a erosão provocada pela ação da radiação ultravioleta proveniente do sol e do oxigênio atômico (UEDA, 2003), melhoria superficial de peças, elementos de máquinas, blocos de freios (FRUTH, 1999), embalagens para alimentos sensíveis a ação dos gases presentes no ambiente (GRIMBERG, 1997) e mais recentemente na produção de filmes metálicos absorvedores de radiação eletromagnética (SOETHE,2003).

Existem vários processos de metalização de superfícies, dentre os quais podem-se destacar os processos que utilizam o princípio do arrancamento de átomos do alvo por meio do bombardeamento deste por partículas energéticas, sendo que para a deposição sobre substratos sensíveis a elevação da temperatura, como os substratos poliméricos, utiliza-se o Triodo Magnetron Sputtering (TMS) (FONTANA, 1997). Este processo se caracteriza pela presença de um terceiro eletrodo, localizado entre o alvo e o substrato, cuja função é recolher os elétrons frios do plasma, aumentando com isso a eficiência do processo e o controle dos parâmetros de tratamento. Observando a ampla aplicabilidade de superfícies poliméricas metalizadas na indústria civil e militar, bem como a possibilidade do controle dos parâmetros de deposição no TMS, e baseando-se em um estudo realizado por Bhat (1998), depositou-se filmes de Al e Inconel (liga de níquel e cromo) com diferentes espessuras de forma a verificar a influência da espessura e da estrutura química do material que constitui o filme nas características de atenuação da energia da onda eletromagnética na faixa de frequências compreendidas entre 8 e 12 GHz. O objetivo da realização deste estudo baseou-se no conhecimento do potencial interesse que o setor da indústria de telecomunicações, aeronáutica, automobilística e médica possuem no emprego de filmes metálicos na área de materiais absorvedores de radiação eletromagnética.

MATERIAIS E MÉTODOS

Lâminas de poli (Tereftalato de Etileno) (PET), comercialmente conhecido como Mylar1000A da Dupont® foram utilizadas como substratos na deposição de filmes finos de alumínio e liga de níquel e cromo (INCONEL). Para as deposições de filmes metálicos sobre substrato polimérico utilizou-se um sistema TMS montado no Laboratório de Plasma (LABPLASMA) do departamento de Física da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). A análise de atenuação eletromagnética foi realizada em um equipamento de guia de onda do Laboratório de Caracterização Eletromagnética da Divisão de Materiais / Instituto de Aeronáutica e Espaço / Centro Técnico Aeroespacial. Os parâmetros de tratamento foram escolhidos baseados em um estudo prévio da estrutura física do filme obtido por TMS, variando-se a corrente e a voltagem do alvo (SOETHE,2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atentando-se ao fato de filmes metálicos terem a característica de absorverem radiação eletromagnética, como demonstrado por Bhat (1998), realizou-se um estudo de deposição de filmes constituídos de alumínio e liga de Ni-Cr (Inconel) sobre substratos poliméricos (filmes de poliéster – *mylar*). Obteve-se inicialmente a razão de deposição para algumas condições de deposição e posteriormente realizou-se recobrimentos em diferentes tempos de modo a se obter filmes de Al e de Inconel (liga de Ni-Cr-Fe) com espessuras entre 5 nm e 250 nm. Na Figura 1 é possível observar uma micrografia demonstrando o descolamento do filme de Al do substrato, e analisar a espessura do mesmo. Medindo-se esta espessura e conhecendo-se o tempo de deposição encontra-se o valor da razão de deposição para cada uma das condições utilizadas. Isto torna possível controlar a espessura do filme depositado naquela condição.

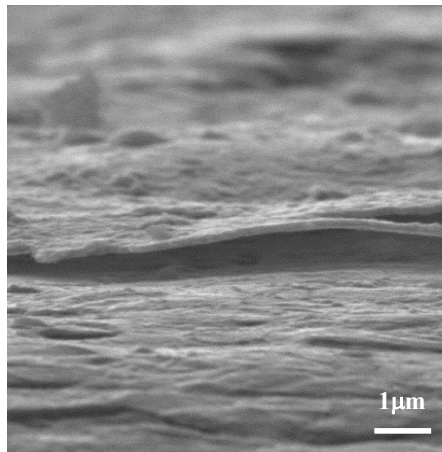


Figura 1. Micrografia obtida via Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de um filme de Al descolado do substrato polimérico, utilizado para cálculo da razão de deposição.

Conhecida a razão de deposição para as condições trabalhadas, escolheu-se os materiais que constituiriam o filme. A escolha do Al se deu principalmente devido às suas características de leveza e maleabilidade, enquanto que o Inconel, foi selecionado por apresentar uma elevada resistência à corrosão. A avaliação do coeficiente de reflexão dos filmes de Al e Inconel depositados sobre substrato polimérico, por meio do equipamento de guia de onda, posicionados sobre uma placa metálica (100 % refletora), permitiu avaliar a capacidade dos filmes em atenuar o coeficiente de reflexão do metal (NOHARA,2003). Os gráficos desta atenuação em porcentagem em função da frequência da radiação, podem ser visualizados na Figura 2(a) e (b). De acordo com os gráficos da Figura 2, pode-se observar que filmes de Al (sobre substrato de Mylar) e os filmes de Inconel apresentaram uma atenuação máxima próxima a 12%. O comportamento para o Inconel é distinto daquele observado pelas amostras de Al. Pode-se observar pela Figura 2(b) que o filme de Inconel possui um aumento crescente da sua atenuação com a frequência da radiação, chegando a um máximo para a frequência de 12GHz. A escolha desta faixa de frequências se deve ao intervalo de interesse, entretanto para algumas aplicações, a faixa acima de 12GHz pode ser explorada e, portanto, a investigação do comportamento destes filmes, quando submetidos a este tipo de radiação, se faz necessária. Para os filmes de Al, esta atenuação possui um

comportamento próprio para cada espessura, atingindo pontos máximos em diferentes frequências. Comparativamente ao resultado obtido por Bhat (1998), a espessura da camada influencia de forma significativa nas características de atenuação de radiação.

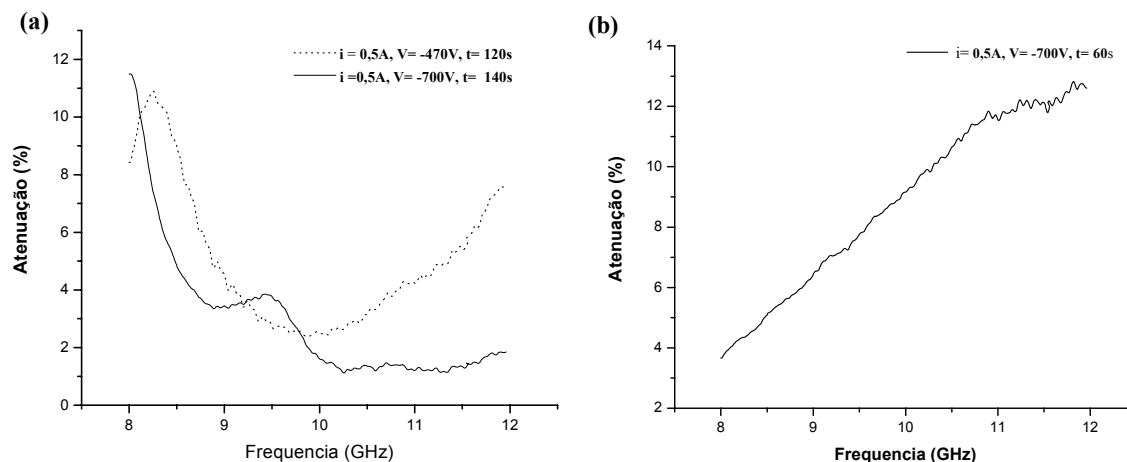


Figura 2. Resultados obtidos para a atenuação de radiação de microondas realizada por guia de onda. (a) Filmes de Al; (b) Filme de Inconel.

Observando-se os gráficos (a) e (b) da Figura 2, para o intervalo de espessuras e razões de deposição utilizadas neste trabalho, verifica-se que o filme de Al teve uma atenuação ligeiramente inferior que o filme de Inconel, porém, com uma faixa de frequências mais abrangente. A fim de verificar as diferenças entre as superfícies das amostras que apresentaram certa atenuação de radiação de microondas incidente, realizou-se uma análise por meio de Microscopia de Força Atômica (AFM). O resultado de AFM para o filme de Inconel pode ser observado na Figura 3.

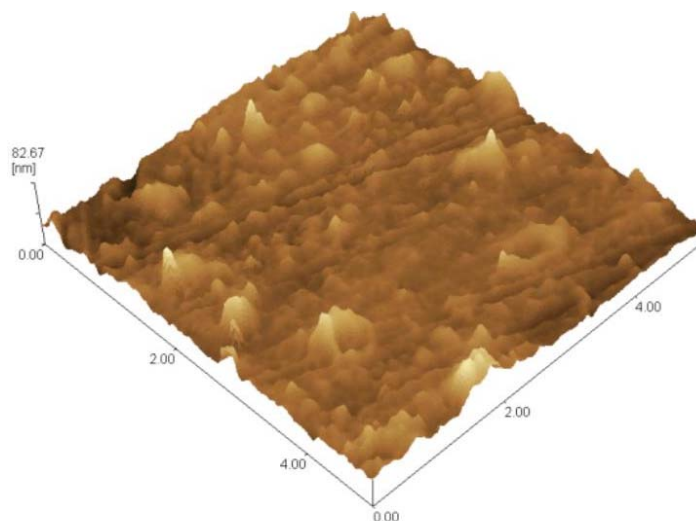


Figura 3. Microscopia de força atômica (AFM) da superfície do filme de Inconel depositado sobre polímero. Amostra depositada com $i=0,50A; V_{alvo}=-700V$.

As Figuras 4(a) e 4(b) mostram os resultados obtidos para os filmes de Al de duas amostras realizadas sob condições de deposição diferentes. A principal diferença entre estas amostras é que a energia dos átomos durante a deposição da

amostra (b) é superior em relação àquela da amostra (a). Por meio desta análise pode-se observar que se obteve uma superfície com um grau de rugosidade menor na amostra realizada sob deposição mais energética.

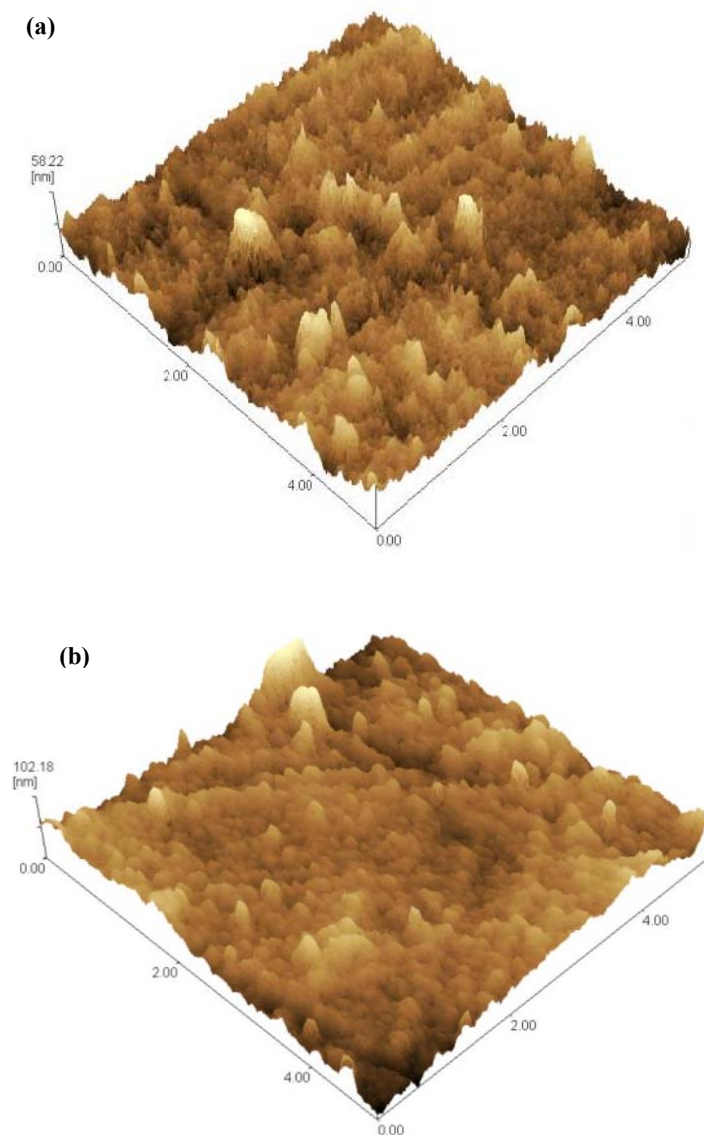


Figura 4. Microscopia de força atômica (AFM) da superfície dos filmes de Al que apresentaram atenuação de radiação eletromagnética durante ensaio por guia de onda. (a) Filme de Al depositado com $i=0,50A$ e $V_{alvo}=-470V$; espessura média do filme= $216nm$; (b) Filme de Al depositado com $i=0,50A$; $V_{alvo}=-700V$; espessura média do filme= $224 nm$.

Ao se observar a Figura 3, pode-se verificar que, comparativamente a Figura 4, a morfologia do filme de Inconel apresenta uma topografia com um grau de rugosidade menor em relação ao filme de alumínio.

Para verificar se a atenuação da onda eletromagnética provocada pelo material está relacionada com absorção, é necessário determinar os parâmetros complexos deste material, ou seja, a permeabilidade relativa ($\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$) e a

permissividade relativa ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$), que estão relacionados com as propriedades intrínsecas do material, ou seja, a presença de mecanismos internos de absorção da energia da onda eletromagnética. A permeabilidade relativa caracteriza a interação do material com o campo magnético da onda eletromagnética, e a permissividade relativa com o campo elétrico. Os termos μ_r' e ϵ_r' estão relacionados com o armazenamento da energia do campo magnético e elétrico, respectivamente, e os termos μ_r'' e ϵ_r'' com as perdas (NICHOLSON, 1970). Por definição, se um material não possui interação com a onda eletromagnética, a parte real do parâmetro complexo é igual a um e a parte complexa igual a zero. Entretanto, para este estudo, estes parâmetros não foram determinados, não permitindo certificar se a atenuação da energia da onda eletromagnética observada pelos filmes de Al e Inconel é característica de absorção ou outro efeito gerado pelo material.

Os resultados preliminares deste estudo mostram uma correlação entre a espessura dos filmes, sua constituição química e atenuação da energia da onda eletromagnética. Posteriormente serão avaliados os parâmetros complexos, permeabilidade e permissividade, dos filmes depositados.

CONCLUSÕES

O estudo da atenuação da onda eletromagnética incidente produzida pelos filmes de Al e Inconel depositados sobre substrato polimérico via TMS permitem concluir que :

- Os filmes apresentaram uma pequena atenuação da energia eletromagnética e representam uma alternativa viável para a produção de materiais absorvedores de radiação eletromagnética.
- A espessura e o material que compõe os filmes, assim como as condições de deposição, influenciam na característica de atenuação de energia eletromagnética.
- Filmes de Inconel apresentaram uma atenuação crescente com a frequência, atingindo um máximo (~14%) em ~12GHz, ao passo que os filmes de Al apresentaram atenuação em diferentes faixas de frequência.
- Os resultados obtidos vêm de encontro com os encontrados na literatura, e após a determinação dos parâmetros complexos será possível verificar se a atenuação sofrida pelo material pode ser classificada como uma real absorção da energia da onda eletromagnética incidente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro, a UDESC pela infraestrutura oferecida e ao CTA/AMR por disponibilizar os equipamentos para análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 FORTUNATO, E.; NUNES, P.; COSTA, D.; BRIDA, D.; FERREIRA, I.; MARTINS, R. Characterization of aluminium doped zinc oxide thin films deposited on polymeric substrates. **Vacuum**, Capararica, Portugal, n. 64, p. 233-236, 2002

- 2 UEDA, M.; TAN, I.H.; DALLAQUA, R.S.; ROSSI, J.O.; BARROSO, J.J.; TABACNIKS, M.H. Aluminium plasma ion implantation in polymers. **Beam Interactions with Materials and Atoms**, São Paulo, Brasil, n.206, p. 760-766, 2003
- 3 FRUTH, W.; MEERKAMM, H.; KRUMPIEGL, T.; SCHAUFLEDER, C.; ERKENS, G.; RUTTOR, M. Tribological behaviour of PVD-coated PA plastic material sliding against metal counterparts. **Surface and Coating Technology**, Germany, n.120-121, p.470-475, 1999
- 4 GRIMBERG, I.; ZHITOMIRSKY, V.N.; PARKANSKY, N.; MATTHEWS, A.; WILSON, A.; BOXMAN, R.L.; WEISS, B.Z.; GOLDMITH, S.; Structure and Tribological properties of thin vacuum arc coatings on polysulfone. **Surface and Coating Technology**, Israel, UK, n. 94-95, p.213-219, 1997
- 5 SOETHE, V.L. "Deposição de filmes metálicos sobre poli (Tereftalato de Etileno) via Triodo-Magnetron-Sputtering: influência da corrente e da voltagem nas propriedades dos filmes". **Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville, SC, 2003.**
- 6 FONTANA, L.C. Estudo da deposição de Filmes de Ti e TiN e desenvolvimento do sistema modificado Triodo Magnetron Sputtering. **Tese de Doutorado, Florianópolis, SC, Brasil, UFSC, 1997**
- 7 NOHARA, E.L. Materiais Absorvedores De Radiação (8-12 GHz) Obtidos pela Combinação de Compósitos Avançados Dielétricos e Revestimentos Magnéticos. **Tese (Doutorado em Ciências), Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos., SP, 2003**
- 8 BHAT, K.S.; DATTA, S.K.; SURESCH, C.; Electrical and microwave characterization of Kantal thin films: temperature and size effect. **Thin Solid Film**. Bangalore, India. n.33 2, p. 220-224, 1998.
- 9 NICHOLSON A. M.; ROSS G. **IEEE Trans Instrum Measure**. v. 19, p. 377, 1970

DEPOSITION OF METALLIC FILMS DEPOSITED THROUGH TRIODO MAGNETRON SPUTTERING ON POLY (ETHYLENE TEREPHTHALATE) AS ATENUADOR OF THE ENERGY OF THE ELECTROMAGNETIC WAVE (8-12 GHZ)(1)

Viviane Lilian Soethe⁽²⁾
Evandro Luis Nohara⁽³⁾
Mirabel Cerqueira Rezende⁽⁴⁾
Luís Cesar Fontana⁽⁵⁾

Abstract

The Triode Magnetron Sputtering (TMS) is a system of physical depositing films which is made up of a grounded mobile screen, located between the cathode (target) and the anode (substrate). Changing its relative position between to the cathode and mobile screen, some of the characteristics of the plasma are changed such as the ignition tension. Through the one study, we could verify that, in a TMS system, it's possible to work independently with the current and the target voltage, making this system an alternative viable for the deposition of quality metallic films on polymeric substrates. After that choose the suitable conditions of deposition, a deposition of Al and Inconel films on a poly (ethylene terephthalate) substrate was made, with the purpose of investigating film behavior concerning its attenuation characteristics of incident electromagnetic energy, in the frequency band between 8 and 12GHz. This behaviour turn this material passive of to be used how electromagnetic radiation absorbing (MARE), enlarging its applications to the control of the undesirable radiation in several equipments. Trough a study of the influence of layer thickness and film material (Al or Inconel) on the characteristics of attenuation of electromagnetic wave energy, it was observed that Al and Inconel deposited films showed a maximum 13% attenuation. Through this study we check that metallic films can be used how electromagnetic radiation absorbing materials, as long as ideal work thickness and its intrinsic characteristics are known.

Key-words: Triode-Magnetron-Supttering (TMS), thin films, MARE, electromagnetic characterization.

60° ABM Internacional Anual Congress, 25-28 de Julho de 2005, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

- (1) Department Of Physic, University of the State of Santa Catarina. Campus Universitário Professor Avelino Marcante, s/n, 89223-100, Joinville, Santa Catarina, Brazil. Ms Science and Engineering of Materials.
- (2) Department of Electric Engineering, University of Taubaté, Daniel Danelli, s/n, 12060-040, Taubaté (SP), Brazil. Doctor in Physics for the Instituto Tecnológico da Aeronáutica. enohara@uol.com.br
- (3) Centro Tecnológico da Aeronáutica, Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Materiais, Pça. Mal. Eduardo Gomes, nº 50. 12228-900 - São José dos Campos (SP), Brazil. Doctor in science for the USP – 1991. E-mail: mirabel@iae.cta.br
- (4) Department Of Physic, University of Estado of Santa Catarina. Campus Universitário Professor Avelino Marcante, s/n, 89223-100, Joinville, Santa Catarina, Brazil. Dr. Physic by UFSC (Universidade do de Santa Catarina) E-mail: fontana@joinville.udesc.br.