

PROJETO, FABRICAÇÃO E MEDIÇÃO DE FILTROS REJEITA-FAIXA UTILIZANDO ESTRUTURAS PERIÓDICAS PBG-GP E SUPERFÍCIES SELETIVAS EM FREQUÊNCIA

Márcio G. Passos, Rodrigo B. de Medeiros, Rafael B. de Carvalho e Paulo H. da F. Silva
CEFET-PB/GTEMA – Av. 1º de Maio, 720 Jaguaribe
CEP: 58015-430 – João Pessoa, PB, Brasil
E-mail: henrique@cefetpb.edu.br

RESUMO

O controle das propriedades eletromagnéticas de dispositivos e circuitos de microondas tem recebido bastante atenção nos últimos anos, contribuindo para os avanços na área de telecomunicações. Algumas aplicações que requerem a filtragem de ondas eletromagnéticas em altas frequências utilizam-se das tecnologias planares para serem implementadas através de estruturas periódicas, tais como o PBG (*Photonic Band Gap*) e a FSS (*Frequency Selective Surface*). Estas estruturas estão presentes em nosso cotidiano, por exemplo, aplicadas à construção de antenas, portas de fornos de microondas, janelas em edificações, etc. Nesse estudo utiliza-se a estrutura PBG do tipo GP (*Ground Plane*), que tem células circulares gravadas no plano terra e a estrutura FSS empregando a célula do tipo dipolo cruzado. Em particular, investigou-se como a resposta em frequência destas estruturas periódicas variam em função de suas características geométricas: tamanho e periodicidade das células. Neste artigo são descritas as etapas de fabricação dos dispositivos com o auxílio de ferramentas de CAD (*Computer Aided Design*). Os resultados foram obtidos através de medidas com a utilização do Analisador de Redes HP-8757D na faixa de 100 MHz – 10 GHz, verificando-se uma excelente concordância com os valores projetados.

PALAVRAS-CHAVE: dispositivos de microondas; PBG; FSS.

1. INTRODUÇÃO

Os filtros desempenham importantes funções nas aplicações em microondas. Eles são usados para separar ou combinar diferentes frequências. O espectro eletromagnético é limitado e deve ser bem utilizado, por isso, os filtros são aplicados na seleção ou confinamento de sinais de RF (*radiofrequency*) ou de microondas. As aplicações atuais, como os sistemas *wireless*, exigem a otimização das características dos filtros tais como: largura de banda, faixa de operação, baixo custo, tamanho e peso reduzidos. Dependendo da faixa de frequência, os filtros podem ser projetados como elementos de circuitos distribuídos ou discretos e podem ser construídos a partir de diferentes meios de transmissão como guias de ondas, cabos coaxiais ou linhas de microfita (Hong e Lancaster, 2001).

Alguns avanços recentes envolvem o uso de novos materiais e tecnologias de fabricação, incluindo MMIC (*monolithic microwave integrated circuit*), MEMS (*microelectromechanic system*), HTS (*high-temperature superconductor*), FSS (*frequency selective surface*) e PBG (*photonic band gap*), têm levado o rápido desenvolvimento de novos filtros em microfita. Os materiais PBGs têm recebido destaque na área de engenharia de microondas nos últimos anos principalmente devido às suas aplicações como redutores de harmônicos de ordem superior, antenas, cavidades com alto fator de qualidade e casadores de impedância, (Sung e Kim, 2005). Por outro lado, as FSSs têm sido utilizadas como filtros de ondas eletromagnéticas, antenas refletoras, radares e bloqueadores de sinais (Silva e D'Assunção, 2006).

Este artigo descreve as etapas de projeto, construção e medição de filtros em linha de microfita com material PBG, com fendas circulares no plano terra, e, de FSSs com células do tipo dipolo cruzado.

2. ESTRUTURA PBG

Os materiais do tipo *Photonic Band Gap* (PBG), algumas vezes chamados de EBG (*Electromagnetic Band Gap*), são estruturas não homogêneas compostas de regiões periódicas com uma certa permissividade elétrica e preenchidas com um material homogêneo de permissividade diferente (Shi et. al, 2004). Estes materiais foram originalmente propostos para aplicações ópticas, mas suas propriedades seletivas em frequência também podem ser aplicadas em outras faixas do espectro eletromagnético. Quando aplicados a dispositivos de microfita, os materiais PBG podem estar inseridos no substrato dielétrico ou no plano terra, conforme ilustra a Fig. 1.

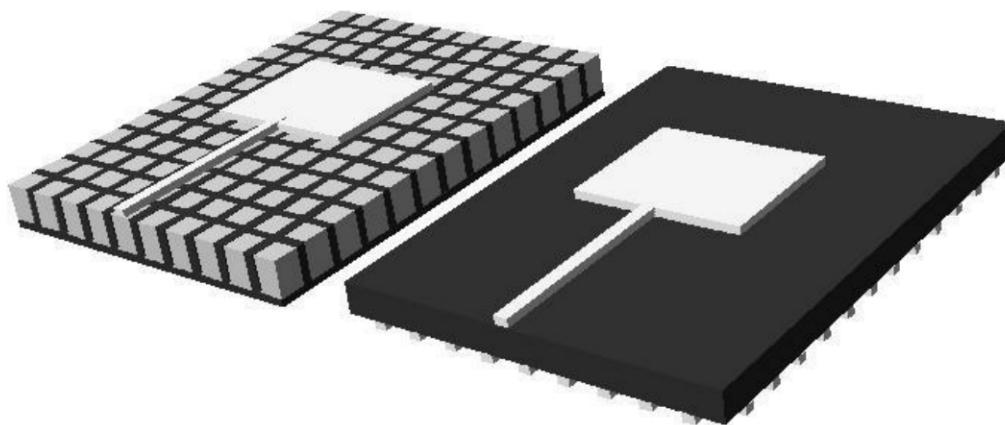


Figura 1: Exemplos de dispositivos de microfita com material PBG no substrato dielétrico, à esquerda, e no plano terra, à direita.

A estrutura PBG escolhida neste trabalho foi proposta por Radisic et al. (Radisic et. al., 1998), e é composta de uma linha de microfita impressa em um substrato dielétrico com buracos circulares encravados no plano terra periodicamente dispostos ao longo da linha, conforme apresentado na Fig. 2. Como o material PBG está localizado no plano terra, este tipo de estrutura também é chamada PBG-GP (*Ground Plane*). Com o objetivo de investigar o efeito da estrutura como um filtro rejeita-faixa, três estruturas foram fabricadas com círculos de raios diferentes.

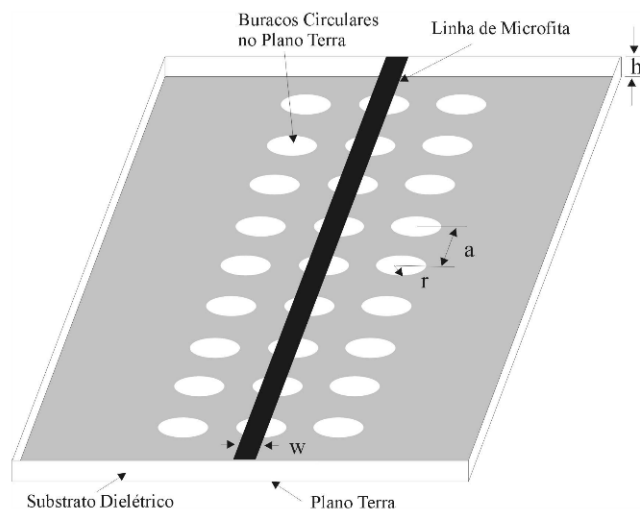


Figura 2: Vista tri-dimensional da estrutura PBG proposta.
Os círculos estão encravados no plano terra da linha de microfita.

2.1. Projeto da Estrutura PBG-GP

Para o cálculo da largura da linha de microfita, considerou-se o substrato dielétrico do tipo fibra de vidro, tendo a permissividade elétrica relativa $\epsilon_r = 4,5$ e espessura $h = 1,5$ mm. Para a obtenção do valor da largura da fita, w , com uma impedância de entrada $Z_0 = 50 \Omega$, foram utilizados os modelos empíricos de análise e síntese propostas por Hammerstadt e Fusco, (Fooks e Zakarevicius, 1990). A partir destes modelos aproximados, foi obtido o valor de $w = 2,82$ mm. De acordo com Radisic et. al., o comprimento de onda guiada varia de acordo com o dobro do valor do período a da estrutura PBG (Radisic et. al., 1998). Estabelecendo-se a frequência de corte em 4,4 GHz, obtém-se um valor de $a = 16$ mm. O raio dos círculos determina a largura da faixa rejeitada, sendo esta influência o alvo principal desta pesquisa.

2.2. Fabricação da Estrutura PBG-GP

A fabricação de uma estrutura planar PBG envolve algumas etapas: elaboração do *layout* com auxílio de um *software* CAD, impressão do desenho na placa de fibra de vidro e corrosão em percloroeto de ferro. Estas etapas são apresentadas nas Fig. 3 e 4.

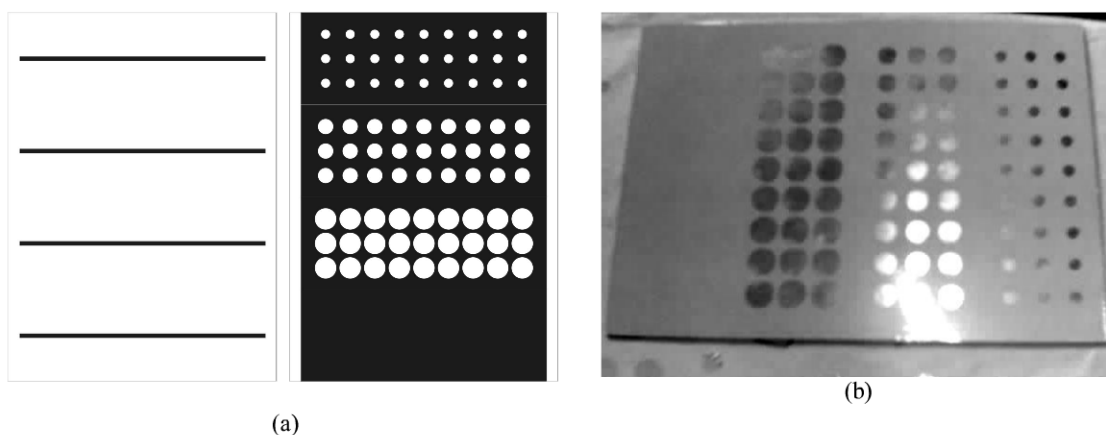
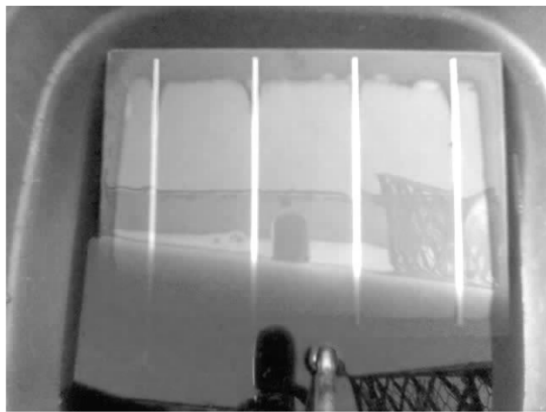
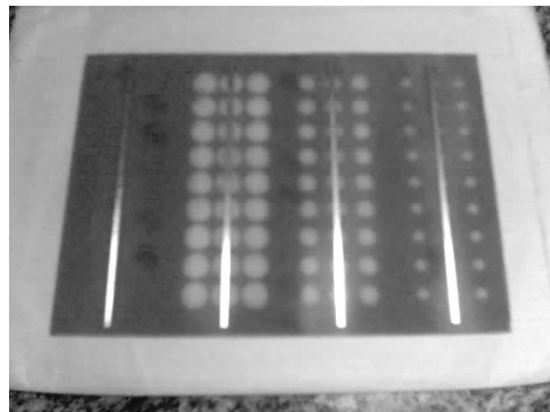


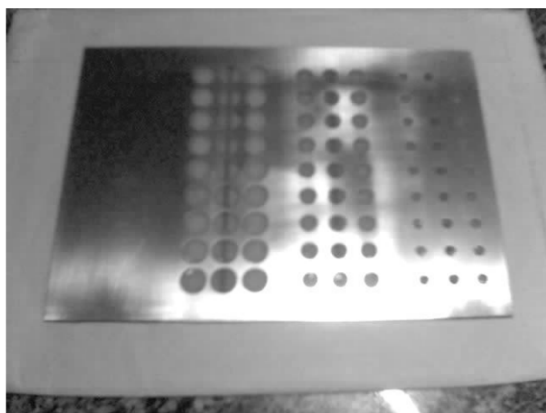
Figura 3: (a) Layout da impressão, frente e verso. (b) Impressão do desenho na placa.



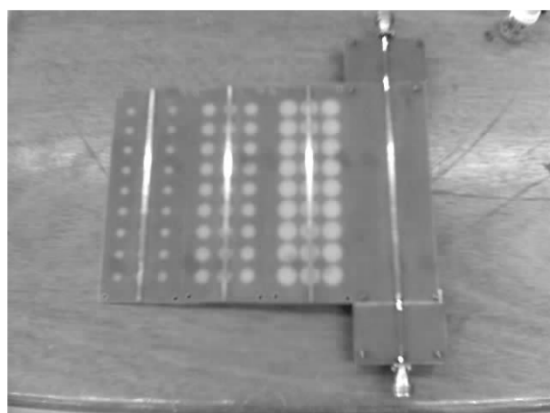
(a)



(b)



(c)

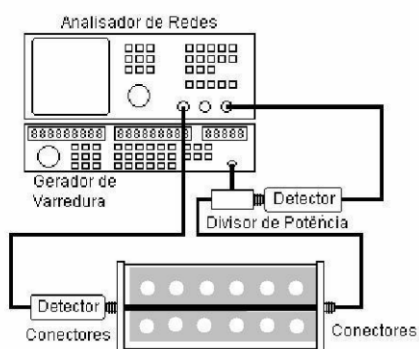


(d)

Figura 4: (a) Corrosão em percloroeto de ferro. (b) Vista superior. (c) Vista inferior. (d) Com conectores SMA para medição.

2.3. Medições e Resultados Obtidos

As medições das estruturas construídas foram realizadas no Laboratório de Medidas em Telecomunicações do CEFET-PB. Os resultados foram obtidos com o conjunto de medições composto por um Gerador de Varredura HP 83752A e um Analisador de Redes HP 8757D. O *setup* de medição é ilustrado na Fig. 5.



(a)



(b)

Figura 5: (a) Diagrama esquemático do *setup* de medição. (b) Detalhes da conectorização do circuito e dos detectores de potência.

A grandeza a ser medida é o coeficiente de transmissão, que na faixa de microondas corresponde ao parâmetro de espalhamento S_{21} . Quanto menor for este valor, maior a atenuação entre a entrada e a saída do filtro, indicando que nesta frequência o circuito opera como um filtro rejeita-faixa. A Fig. 6 apresenta os resultados para quatro valores diferentes do raio dos círculos $r = [0 \ 3 \ 5 \ 7]$ mm. Observa-se que a largura da faixa de rejeição do filtro é diretamente proporcional ao raio das células circulares do PBG.

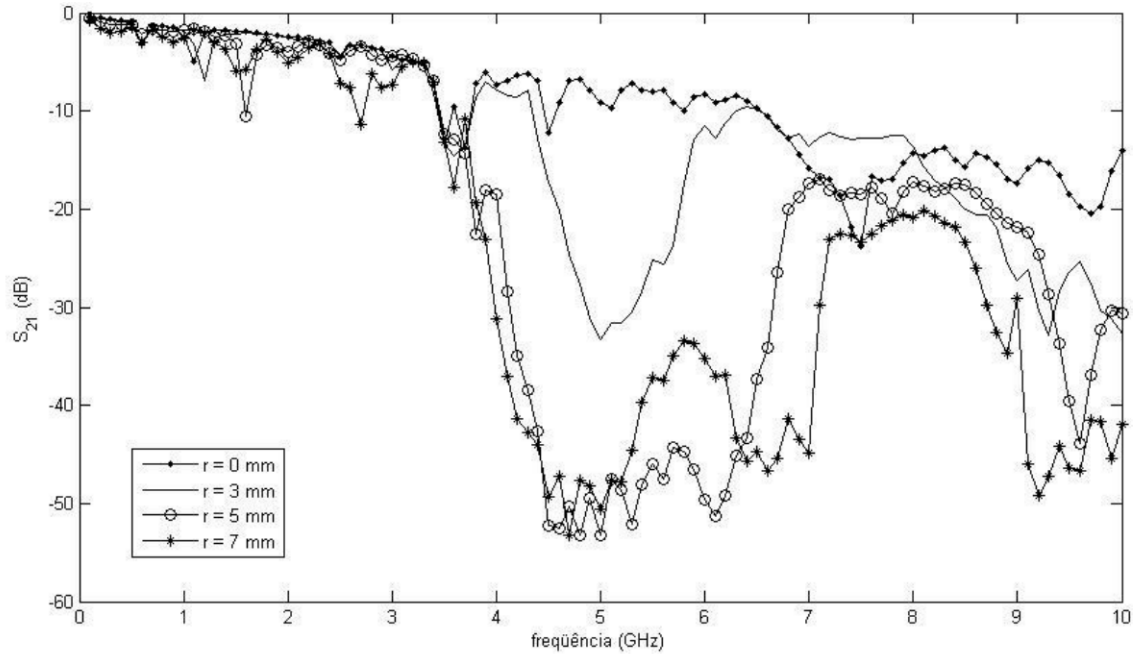


Figura 6: Valores medidos para o parâmetro S_{21} na faixa de 100 MHz a 10 GHz.

3. Superfícies Seletivas de Frequência

As FSSs são estruturas periódicas em uma ou duas dimensões e que desempenham uma operação de filtragem eletromagnética. Dependendo da construção física, do material utilizado e da geometria, elas são divididas em passa-baixa, passa-alta, passa-faixa e rejeita-faixa (Mias et. al., 2003). As principais aplicações das FSSs são a blindagem eletromagnética contra interferência de sistemas adjacentes, blindagem de sistemas de alta sensibilidade, o controle da radiação em faixas não licenciadas, em sistemas de comunicação que utilizam pico-células e isolamento contra radiações indesejadas. A Fig. 7 apresenta a geometria de alguns tipos de elementos periódicos utilizados na construção de FSSs.

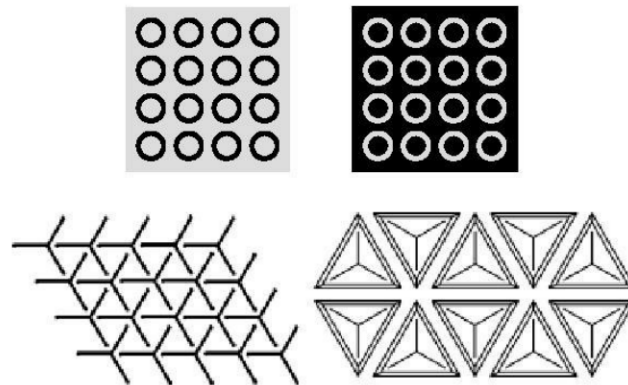


Figura 7: Exemplos de elementos periódicos aplicados em FSS.

O tipo de célula utilizada neste estudo foi a do tipo dipolo cruzado. Esta estrutura segue a tecnologia de construção planar, sendo o arranjo de dipolos impresso em uma placa de substrato dielétrico revestida por metal condutor. As dimensões a serem observadas são: a espessura do dipolo, c , o comprimento do dipolo, d , e o espaçamento entre eles, e . A configuração e as dimensões deste padrão são mostrados na Fig. 8.

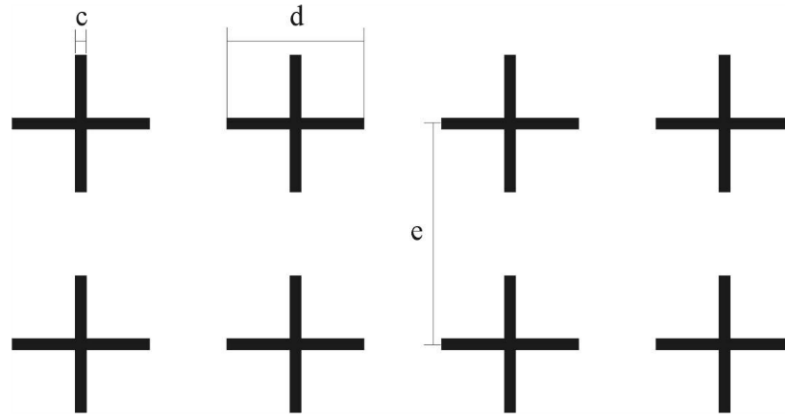


Figura 8: Padrão do tipo dipolo cruzado e suas dimensões.

3.1. Projeto da FSS

Para a construção da estrutura em questão, utilizou-se o substrato dielétrico do tipo fibra de vidro, com uma permissividade elétrica relativa $\epsilon_r = 4,5$ e espessura $h = 1,5$ mm. De modo empírico definiu-se a dimensão c como sendo 1,2 mm e $d = 10c$ ou 12 mm nos quatro casos considerados. Neste estudo experimental, a partir da frequência de rejeição desejada o espaçamento e foi variado entre [1,5 2,0 2,5 3,0] cm.

3.2. Etapa de Fabricação da FSS

A FSS também obedece as etapas de desenho, impressão em placa e corrosão, já observadas no caso da linha de microfita PBG-GP. As quatro estruturas prontas para medição são apresentadas na fotografia da Fig. 9.

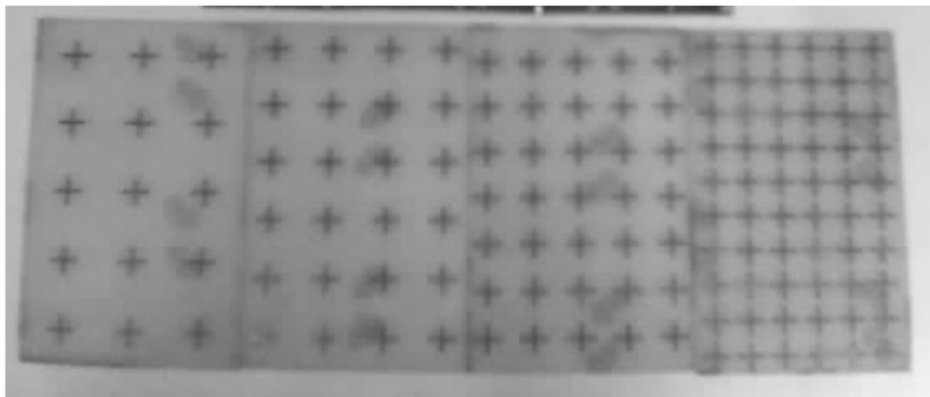


Figura 9: Estruturas FSSs do tipo dipolo cruzado com as dimensões de espaçamento entre os dipolos, da esquerda para a direita: $e = [3,0 \ 2,5 \ 2,0 \ 1,5]$ cm.

3.3. Medições e Resultados Obtidos

As medições foram realizadas no Laboratório de Medidas em Telecomunicações do CEFET-PB. Os resultados foram obtidos com o conjunto de medições composto por um Gerador de Varredura HP 83752A e um Analisador de

Redes HP 8757D. O *setup* de medição é mostrado na fotografia da Fig. 10, com o uso de duas antenas cornetas e duas transições de guias de ondas/cabo coaxial.

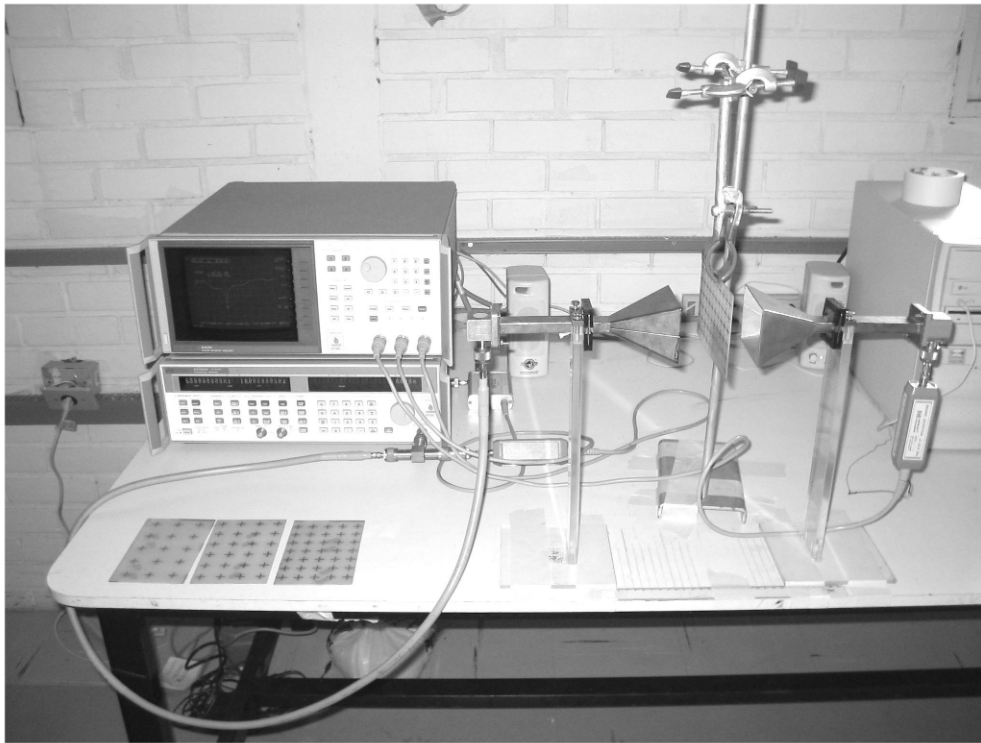


Figura 10: Setup de medição para as estruturas FSS.

A distância adotada entre as antenas cornetas foi de 9 cm (aproximadamente dois comprimentos de onda da frequência de corte inferior da antena corneta, 6,8 GHz) e as FSSs foram posicionadas no ponto médio desta distância. Conectou-se esse sistema ao Analisador de Redes, com a finalidade de se obter os coeficientes de transmissão de cada FSS construída. A junção T na saída do Gerador de Varredura é utilizada para fornecer o sinal de referência ao Analisador de Redes.

A antena corneta transmissora emite microondas através da FSS, que, por sua vez, as atenua em determinadas frequências, chegando à corneta de recepção. Montado o sistema, mediram-se os coeficientes de transmissão para cada FSS, em intervalos de 0,05 GHz. A Fig. 11 apresenta os resultados para os quatro valores diferentes de espaçamento, bem como o valor de referência em espaço livre.

4. CONCLUSÕES

Neste artigo, foram descritas tecnologias atuais e emergentes na área de engenharia de microondas. As estruturas PBG e FSS foram revistas e foi destacada a importância destas na parte de filtragem, separação e blindagem de sinais eletromagnéticos. Embora os dispositivos PBG possam admitir formas de construção diferentes, o enfoque foi mantido no caso particular do PBG-GP. Do mesmo modo, o tipo de célula escolhido para elaboração de uma superfície seletiva de frequência foi o do dipolo cruzado.

As etapas de projeto, construção e medição foram descritas de forma direta e sucinta. Com isso, fica demonstrada a relativa facilidade que a tecnologia de construção planar oferece na elaboração de diferentes dispositivos para a faixa de RF/microondas. Os resultados obtidos foram satisfatórios e concordantes com os valores esperados na etapa de projeto, como no caso da linha de microfita PBG-GP. Observou-se um claro aumento na faixa de rejeição com a variação do raio das circunferências. Concernente às FSSs, observou-se a variação da frequência central de rejeição inversamente proporcional ao espaçamento dos dipolos.

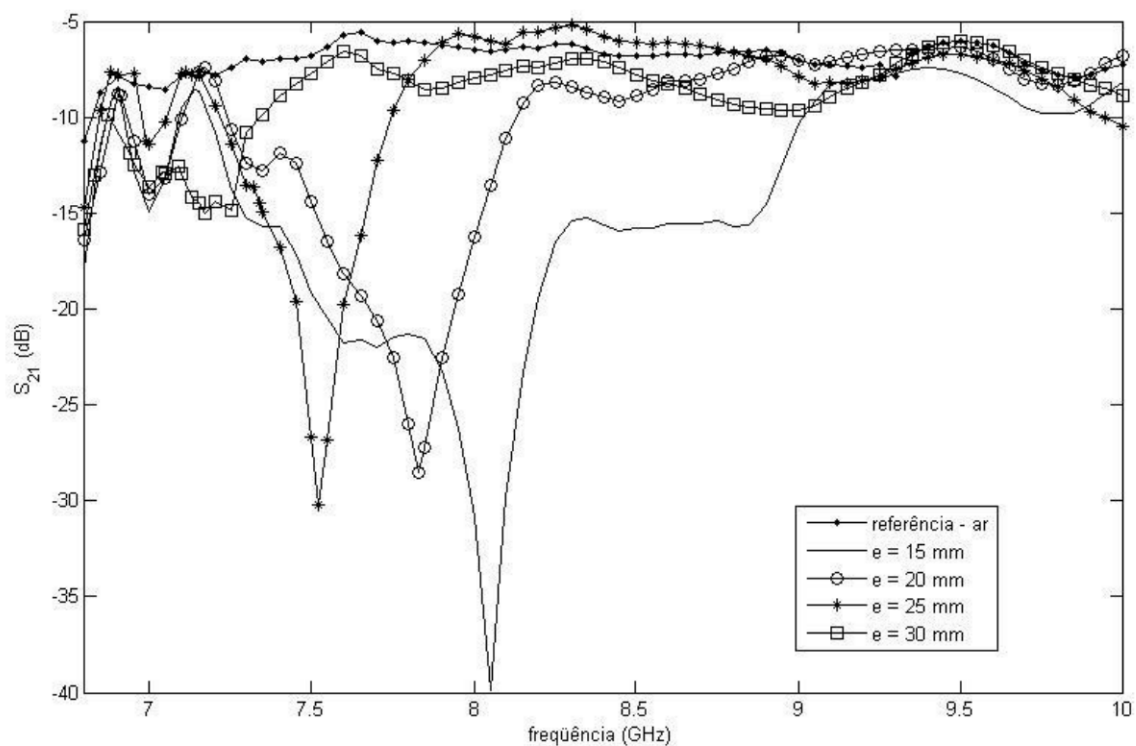


Figura 11: Valores medidos para o parâmetro S_{21} na faixa de 6,8 GHz a 10 GHz.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fooks, E. H. and Zakarevicius, R. A., **Microwave Engineering Using Microstrip Circuits**. Prentice Hall, 1990.
- Hong, J. and Lancaster, M. J., **Microstrip Filters for RF/Microwave Applications**. John Wiley and Sons, Inc., 2001.
- Mias, C., Tsakonas, C., and Oswald, C., **An Investigation into the Feasibility of designing Frequency Selective Windows employing periodic structures**. Final Report for the Radiocommunications Agency, Nottingham Trent University, 2003.
- Radisic, V., Qian, Y., Coccioli, R. and Itoh, T., **Novel 2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines**. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, v. 8, n. 2, p.69-71, 1998.
- Silva, P. L. and D'Assunção, **Neuromodelling of Frequency Selective Surfaces and E-Shaped Microstrip Antennas**. International Joint Conference on Neural Networks, p.1799-1804, 2006.
- Shi, L., Lou D. and Huang, D., **The Design of a Novel 2.4GHz Microstrip Stopband Filter with PBG Structure**. Proceedings of Asia Pacific Radio Science Conference, p.139-141, 2004.
- Sung, Y. J. and Kim, Y. S., **An Improved Design of Microstrip Patch Antennas Using Photonic Bandgap Structure**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v. 53, n. 5, p.1799-1804, 2005.