

## **SISTEMA SEM FIO DE CONTROLE DE POSIÇÃO ATRAVÉS DE COMPUTADOR PARA A MEDIÇÃO DE FSSs**

**Yanko Bruno Carneiro BELMIRO (1); Paulo Henrique da Fonseca SILVA (2);**

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba

GTEMA – Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado  
Av. 1º de Maio, 720 Jaguaribe, CEP: 58015-430, João Pessoa - PB, Brasil

e-mail: [yankobruno@hotmail.com](mailto:yankobruno@hotmail.com)

(2) CEFET-PB/GTEMA, e-mail: [henrique@cefetpb.edu.br](mailto:henrique@cefetpb.edu.br)

### **RESUMO**

As superfícies seletivas de frequência (FSS – *Frequency Seletive Surface*) são usadas em sistemas operando em altas frequências, principalmente para a proteção de ambientes internos contra interferência eletromagnética e de pessoas contra níveis excessivos de exposição radioelétrica. Atualmente, por exemplo, já é comum o uso de FSSs em portas de fornos de microondas e para fabricação de antenas e radomes. Neste artigo descreve-se um sistema sem fio de controle de posição através de computador aplicado à medição de FSSs. Este projeto interdisciplinar teve um caráter didático, reunindo conceitos de programação, eletrônica, telecomunicações, mecânica e automação. O sistema desenvolvido possibilita um controle remoto preciso da posição angular de uma FSS sob medição. O uso deste sistema de controle oferece algumas vantagens aos procedimentos de medição do coeficiente de reflexão de FSSs através de um analisador de redes vetorial na faixa de frequências de 6,5 ~ 13,5 GHz, tais como: aumento da precisão no posicionamento angular de uma FSS sob medição, redução dos erros de medição, bem como, redução dos níveis de exposição do operador à radiação eletromagnética. Neste artigo descrevemos o sistema de controle sem fio desenvolvido, bem como, a sua aplicação para a medição de superfícies seletivas em frequência.

**Palavras-chave:** sistemas de controle; superfícies seletivas em frequência, medição.

## 1 INTRODUÇÃO

As superfícies seletivas em frequência são estruturas periódicas em uma ou duas dimensões, que funcionam como filtros para as ondas eletromagnéticas incidentes em faixas de frequências determinadas. Dependendo da construção física, do material utilizado, da geometria das células e do seu arranjo periódico, as FSSs apresentam seletividade em frequência principalmente do tipo passa-faixa ou rejeita-faixa (MIAS et. al., 2003). As principais aplicações das FSSs são para a blindagem eletromagnética contra interferências de sistemas adjacentes, blindagem de sistemas de alta sensibilidade, o controle da radiação em faixas não licenciadas, isolamento contra radiações indesejadas, em radomes, fornos de microondas, etc.

As FSSs são dispositivos de tecnologia planar, que surgiram devido ao avanço tecnológico e à necessidade de estruturas com dimensões e pesos cada vez menores (WU, 1995). Uma extensa pesquisa analítica tem sido realizada para prever as propriedades de reflexão e transmissão das FSSs. Uma lista extensa de referências sobre a análise das FSSs é apresentada por Mittra et al.

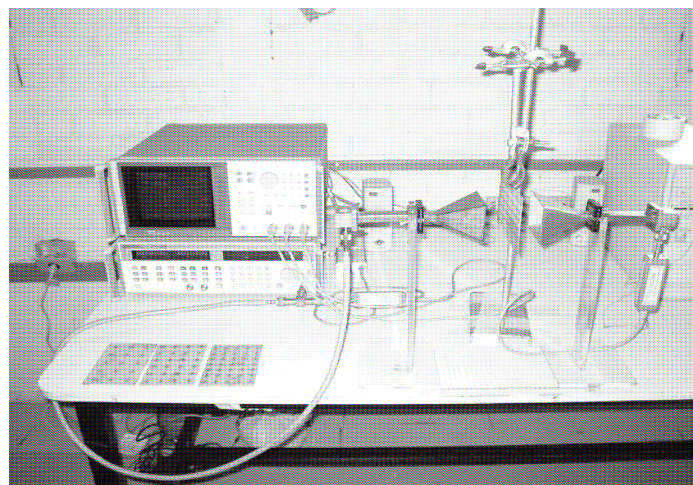
O ângulo de incidência da frente de ondas eletromagnéticas em relação a FSS influencia bastante a sua resposta em frequência. Em geral, a variação do ângulo de incidência altera os valores de seus coeficientes de transmissão e reflexão. Uma característica desejável para uma FSS é que ela mantenha a seletividade em frequência sob incidência normal para uma dada faixa de variação do ângulo de incidência.

Neste artigo descreve-se um sistema sem fio de controle de posição através de computador aplicado à medição de FSSs. Este projeto interdisciplinar teve um caráter didático, reunindo conceitos de programação, eletrônica, telecomunicações, mecânica e automação. O protótipo inicial foi desenvolvido no Laboratório do GTEMA – Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado do CEFET-PB.

A Figura 1 mostra uma imagem da montagem utilizada para a medição de uma FSS tipo dipolo cruzado. Neste caso, o ângulo da FSS em relação à incidência normal é feito girando-se a haste metálica que posiciona a FSS de forma manual. Durante este tipo de procedimento experimental são introduzidos erros, reduzindo a precisão dos resultados medidos, bem como, expondo o operador à radiação eletromagnética (microondas) devido à proximidade das antenas durante o manuseio da FSS sob medição.

O sistema de controle de posição sem fio proposto visa garantir uma maior precisão no posicionamento angular de uma FSS e eliminar o risco de exposição radioelétrica do operador por meio de um controle remoto. O sistema de controle desenvolvido é resultado do aprimoramento de protótipos anteriores projetados para o posicionamento de uma antena direcional (SOUZA et. al., 2006) e para o acionamento de uma esteira transportadora (MONTEIRO et. al., 2007).

Neste artigo, descrevemos os componentes do sistema de controle sem fio proposto. Na seção 2 o módulo transmissor é descrito. Na seção 3 descrevemos os componentes do módulo receptor. A seção 4 apresenta os resultados obtidos. Na seção 5 apresentamos as conclusões e algumas propostas para o aprimoramento do protótipo inicial construído.



**Figura 1 – Arranjo experimental para a medição de uma FSS composto por um Gerador de Varredura HP 83752A, um Analisador de Redes HP 8757D, duas antenas cornetas e transições de cabo coaxial/guia de ondas.**

O sistema de controle sem fio desempenha várias funções para a geração, transmissão e recepção de sinais de controle para o acionamento de um motor de passo. Neste sistema utilizou-se um transmissor e um receptor de RF (radiofrequência) que possibilita o controle remoto através de um computador. A Figura 2(a) mostra esquematicamente o diagrama em blocos do módulo transmissor. O diagrama em blocos do módulo receptor de RF é ilustrado na Figura 2(b). Considerando-se uma propagação *indoor*, estes módulos foram projetados para um curto alcance (máximo de 100 m). Nas seções 2 e 3 os componentes do sistema de comunicação projetado são descritos de uma forma concisa.

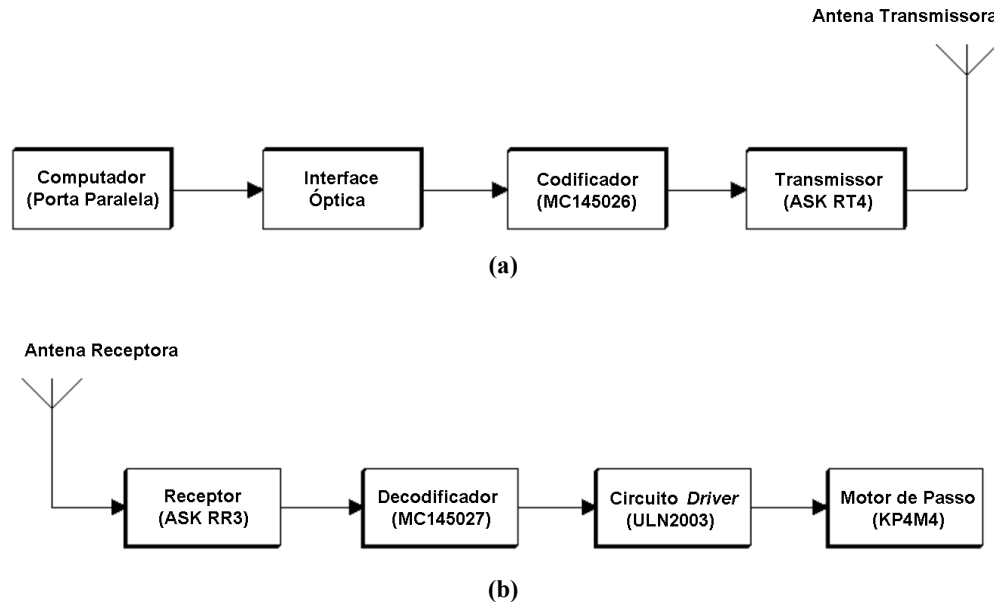


Figura 2 – Diagrama em blocos: (a) módulo transmissor; (b) módulo receptor

## 2 MÓDULO TRANSMISSOR DE RF

O módulo transmissor de RF é responsável pela geração, codificação, modulação e transmissão dos sinais de controle no meio de transmissão entre as antenas do sistema de comunicação sem fio. A Figura 3 apresenta o diagrama esquemático completo do circuito eletrônico do módulo transmissor de RF, cujos componentes são descritos nesta seção.

### 2.1 Geração de Sinais

O sistema proposto funciona em qualquer computador com Windows XP e uma porta paralela. A lógica de controle foi implementada em um programa escrito em linguagem C++, cuja função é a geração dos sinais digitais (*bits*) de controle em resposta aos comandos de um usuário. Para o funcionamento com Windows XP, a biblioteca *inpout32.dll* foi utilizada para acessar o núcleo do sistema operacional e escrever os sinais de controle nos pinos de dados da porta paralela. Para isto foi utilizada a função *outportb(0x378, byte)* da linguagem C++, em que, 0x378 é o endereço da porta paralela e *byte* é a palavra de 8 *bits* que será escrita nos pinos de dados da porta paralela. Neste projeto foram necessários apenas 4 *bits* de controle.

O computador e o módulo transmissor de RF são interligados através da porta paralela via um cabo com conectores DB25. A fim de se evitar danos à porta paralela e/ou à placa mãe, uma vez que a porta paralela está ligada à placa mãe, na entrada do módulo transmissor utilizou-se uma interface óptica, baseada no acoplador óptico 4N25 (ver Figura 3), que isola eletricamente o computador do restante do circuito. A saída de cada acoplador é conectada a um transistor NPN BC548 através de um diodo de sinal 1N4148. Os transistores NPN na configuração emissor-comum são utilizados para sinalização e para que o CI codificador MC145026 não receba os *bits* invertidos, uma vez que cada acoplador óptico inverte o *bit* presente em sua entrada. A sinalização dos dados transmitidos é feita através de diodos emissores de luz (LEDs).

## 2.2 Codificação de Sinais

No módulo transmissor, o circuito integrado (CI) Motorola MC145026 de 16 pinos realiza a codificação dos sinais de controle provenientes das quatro saídas da interface óptica. O CI codificador possui 9 linhas de informação de entradas paralelas (pinos 1 a 10) que podem funcionar em modo trinário (1, 0 ou aberto) ou em modo binário (1 ou 0), e uma saída de dados serial (pino 15). No modo trinário, utilizando-se as 9 linhas de informação para endereçamento, este CI pode combinar até 19 683 endereços diferentes, enquanto que no modo binário, ao se utilizar as mesmas 9 linhas de informação para endereçamento, pode-se obter até 512 endereços diferentes (MONTEIRO et. al., 2007). Neste trabalho a operação em modo binário foi escolhida: as 5 primeiras linhas de informação (A1–A5) foram utilizadas para endereçamento e as 4 linhas de informação restantes (D1–D4) foram reservadas para a transmissão dos sinais de controle (ver Figura 3).

## 2.3 Modulação e Transmissão de Sinais

O circuito transmissor responsável pela modulação dos sinais de controle é o módulo híbrido RT4 da Telecontrolli, que apresenta uma largura de banda de 4 KHz em torno da frequência portadora de 433 MHz. O módulo híbrido RT4 efetua uma modulação ASK (*Amplitude Shift Keying*) dos sinais digitais de controle (sinal modulante) provenientes da saída serial do CI codificador (pino 15) (ver Figura 3). A modulação ASK se caracteriza por permitir a passagem da portadora quando o sinal modulante está em nível alto e por não permitir a passagem da portadora quando o sinal modulante está em nível baixo (GOMES, 1995). O sinal modulado na saída do módulo híbrido RT4 é irradiado no meio de transmissão através de uma antena tipo monopolo com um comprimento de 1/4 do comprimento de onda. Considerando a frequência da portadora, o comprimento calculado para a antena monopolo foi de aproximadamente 17,3 cm.

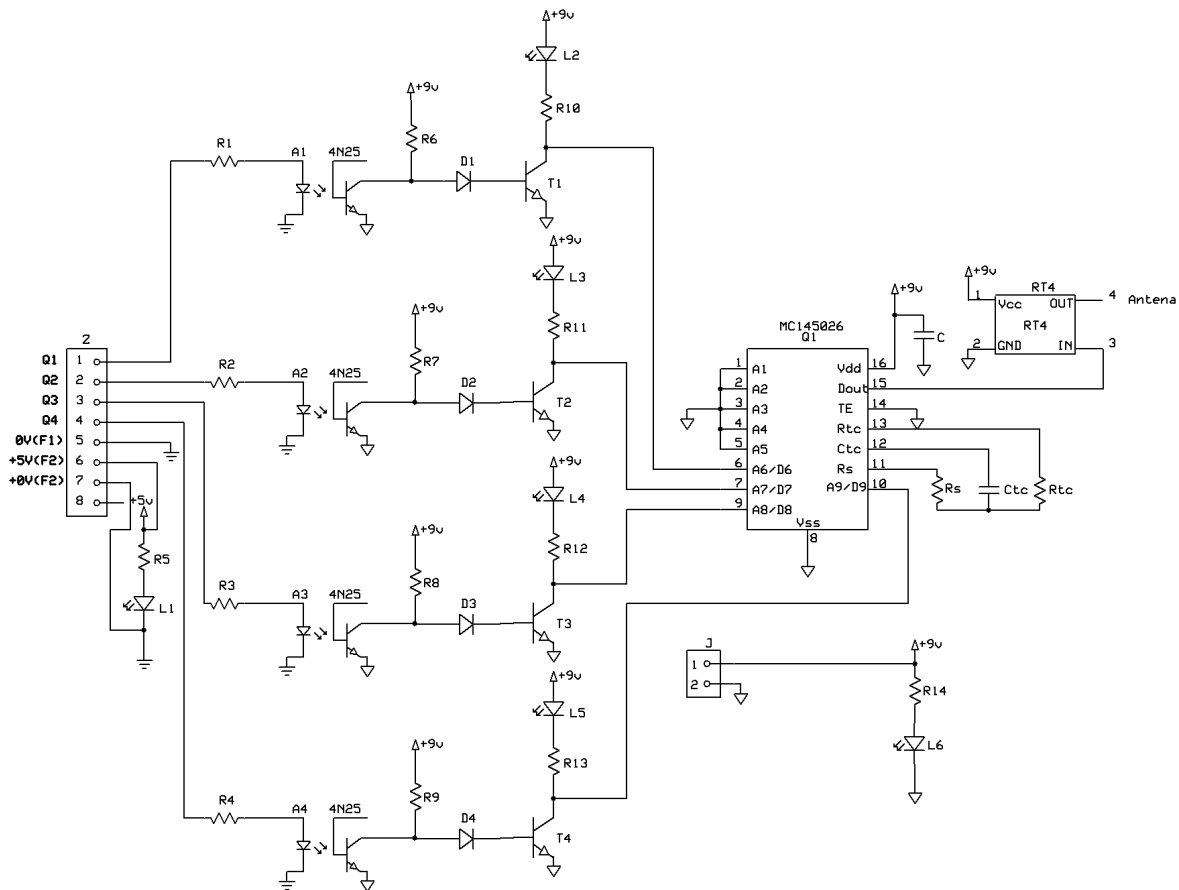


Figura 3 – Circuito esquemático do transmissor de RF de 4 bits

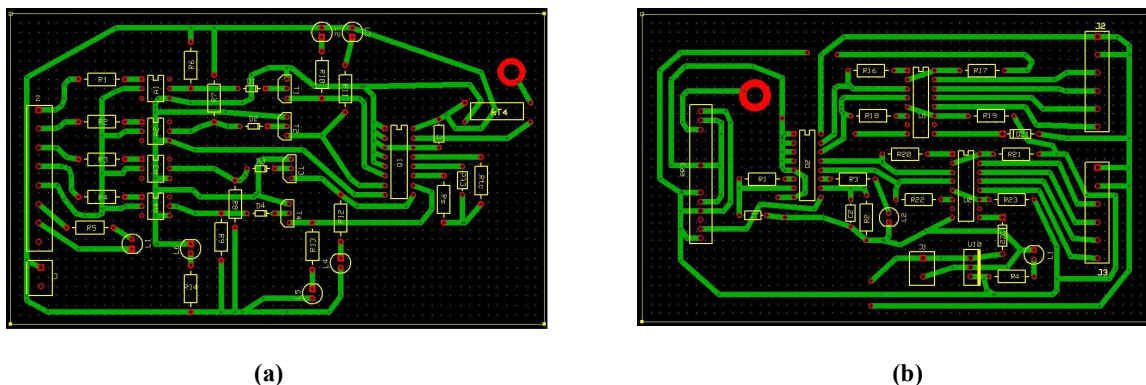


#### 4 RESULTADOS OBTIDOS

O projeto do sistema de controle sem fio proposto compreendeu principalmente três etapas, cada uma dedicada a uma parte do sistema: eletrônica, desenvolvimento do *software* de controle, mecânica.

No projeto da parte eletrônica, os valores de  $R_S$ ,  $C_{TC}$  e  $R_{TC}$  (ver Figura 3) são cruciais para o bom funcionamento do circuito. Estes componentes determinam a frequência do sinal banda básica gerado pelo oscilador do circuito codificador. Essa frequência deve ser menor que 2 KHz, uma vez que este é o valor da largura de banda do circuito receptor de RF, que limita a largura de banda do sinal banda básica a ser transmitido pelo módulo transmissor de RF. Neste projeto é usada uma frequência do sinal banda básica de 1,71 KHz. Neste caso, os valores comerciais calculados para os componentes discretos  $R_S$ ,  $C_{TC}$  e  $R_{TC}$  (ver Figura 3) foram: 100 K $\Omega$ , 5,6 nF e 51 K $\Omega$ , respectivamente. Considerando a frequência de *clock* de 1,71 KHz, os valores comerciais calculados para os componentes discretos  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$  e  $C_2$  (ver Figura 4) foram: 50 K $\Omega$ , 200 K $\Omega$ , 5,6 nF e 0,02  $\mu$ F e 0,1  $\mu$ F, respectivamente. Estes valores foram encontrados utilizando a folha de dados dos CIs codificador/decodificador.

Após o projeto e a especificação de cada componente eletrônico dos circuitos de comunicação mostrados nas Figuras 3 e 4, os leiautes para a fabricação dos circuitos impressos onde serão montados os componentes eletrônicos foram desenhados. Os programas ExpressSCH e ExpressPCB foram utilizados para o desenho dos diagramas esquemáticos dos circuitos eletrônicos e dos leiautes das placas de circuitos impressos, respectivamente. A Figura 5(a) mostra o leiaute da placa de circuito impresso para a fabricação do circuito eletrônico do módulo transmissor de RF. O leiaute da placa de circuito impresso para o módulo receptor de RF é mostrado na Figura 5(b).



**Figura 5 – Leiautes para a fabricação das placas de circuito impresso:**  
**(a) módulo transmissor de RF; (b) módulo receptor de RF**

A próxima etapa foi o desenvolvimento do *software* que possibilita o controle via computador. A linguagem C++ foi utilizada para a implementação da lógica de controle. A versão anterior desenvolvida por Valdery et al. (2006) para Windows 98 foi aprimorada para Windows XP. Para isso incluímos a biblioteca *inpout32.dll* na versão anterior do *software* para acessar o núcleo do sistema operacional e escrever os dados de controle na porta paralela. A versão atual do programa aceita três valores de entrada para acionamento do motor de passo: o ângulo de rotação, a velocidade do motor e o sentido de rotação (horário ou anti-horário).

Por último, mas não menos importante, restou a construção da parte mecânica do projeto. Esta consiste de um atuador mecânico acionado por um motor de passo STH-39D236-02, que foi retirado de um scanner HP, Figura 6(a). Este motor com um passo de 1,8° é acoplado a uma redução mecânica de 3/1, que por sua vez aciona a haste de sustentação de FSS. Assim, obtemos uma resolução angular de 0,6° por passo do motor. Portanto, o posicionamento angular efetuado por este sistema de controle é feito em ângulos discretos, que são valores múltiplos de 0,6°. Para realizar uma rotação completa são necessários 600 passos do motor, que corresponde a 1200 *bits* de controle enviados.

A transmissão da caixa de redução foi projetada e fabricada com rodas e correia dentadas. A fim de minimizar a interferência na medição das FSSs, utilizou-se para a fabricação da haste um material não-metálico – o poliacetal, que é um tipo de polímero com boas propriedades mecânicas. Na extremidade da

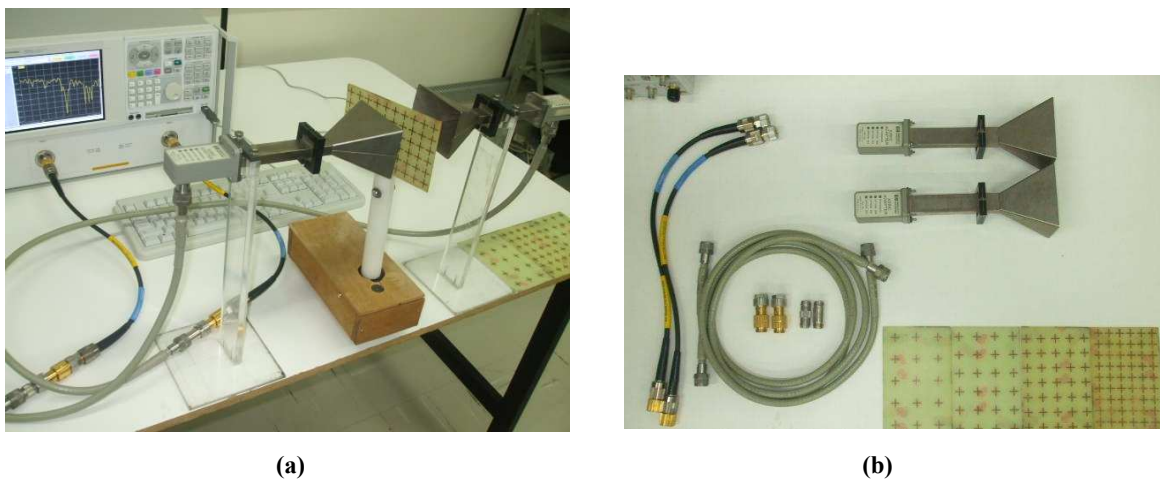


haste fica o suporte para a FSS Figura 6(b). Na fabricação das hastes (curta e longa) foi utilizado um torno mecânico para a produção da peça final.



**Figura 6 – Componentes do atuador mecânico: (a) vistas lateral e superior do motor de passo STH-39D236-02 e redução mecânica 3/1; (b) hastes de sustentação de FSS (curta e longa) fabricadas em poliacetal**

Com o primeiro protótipo produzido, realizamos as primeiras medições utilizando o sistema de controle desenvolvido, a fim de verificar o seu funcionamento. Para isto, utilizamos o arranjo experimental ilustrado na Figura 7(a). As FSSs consideradas para a medição é do tipo dipolo cruzado e foram descritas por Passos et al. (2006). A medição do coeficiente de reflexão de cada FSS em função do ângulo de incidência foi feita através de um analisador de redes vetorial HP8757D. A faixa de frequências de medição é limitada pela frequência de corte do guia de ondas  $\sim 6,5$  GHz e pela frequência máxima do analisador de redes em 13,5 GHz. Os componentes usados na medição ilustrados na Figura 7(b), incluem: cabos coaxiais, conectores, transições cabo coaxial para guia de ondas, antenas cornetas, FSSs tipo dipolo cruzado.



**Figura 7 – (a) Arranjo experimental para medição de FSS usando o protótipo do sistema de controle de posição projetado; (b) componentes utilizados**

O sistema de controle funcionou de acordo com os valores estipulados na fase de projeto. O posicionamento das FSSs é feito de forma precisa em incrementos de  $0,6^\circ$ . A inércia total da haste e da FSS foi facilmente superada pelo torque do motor de passo.

A variação do coeficiente de reflexão da FSS tipo dipolo cruzado ilustrada na Figura 7(a) foi medida em função do ângulo de incidência. Os resultados obtidos estão reunidos na Figura 8 considerando os ângulos de incidência de  $90^\circ$ ,  $75^\circ$  e  $60^\circ$ . Podemos observar o deslocamento da frequência de ressonância desta FSS em função do ângulo de incidência, bem como, da largura de banda medida.

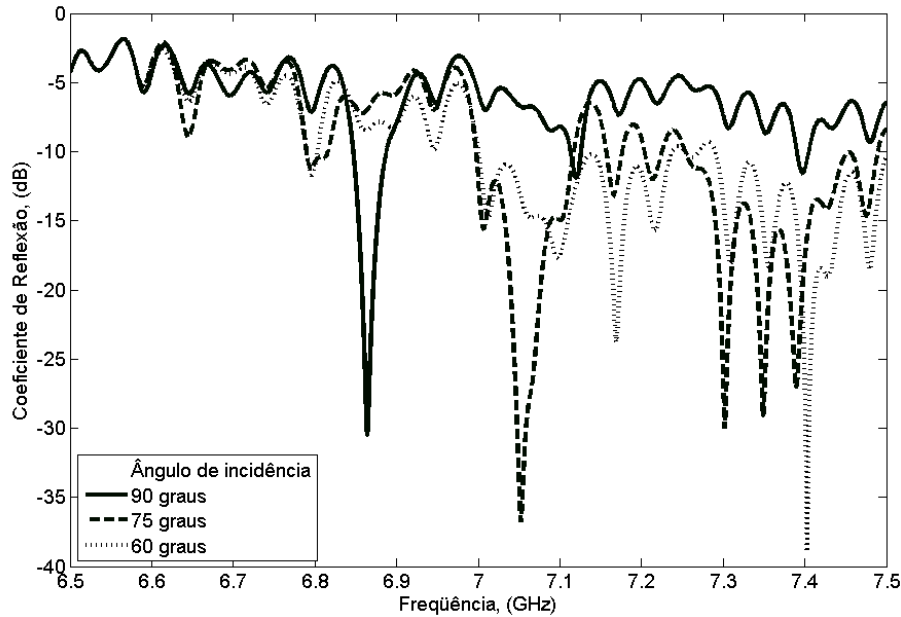


Figura 8 – Resultados medidos do coeficiente de reflexão da FSS tipo dipolo cruzado ilustrada na Figura 7(a) em função do ângulo de incidência.

## 5 CONCLUSÕES

Neste artigo descrevemos um sistema sem fio de controle de posição angular via computador para a automatização do procedimento de medição de FSSs. A implementação do sistema de controle proposto foi viabilizada, alcançando os objetivos para os quais o sistema foi projetado. O projeto compreendeu principalmente três etapas, cada uma dedicada a uma parte do sistema: eletrônica, desenvolvimento do *software* de controle, mecânica. O posicionamento angular de uma FSS através de um computador remoto é feito de forma precisa em ângulos incrementais de  $0,6^\circ$ , reduzindo bastante a exposição do operador à radiação eletromagnética de microondas. Para trabalhos futuros, propomos o aprimoramento da parte mecânica deste protótipo inicial para a obtenção de uma resolução angular ainda menor, bem como, o desenvolvimento de uma interface gráfica com o usuário (GUI) para facilitar o uso do sistema de controle.

## REFERÊNCIAS

- GOMES, A. T., **Telecomunicações: transmissão e recepção AM – FM – sistemas pulsados**. São Paulo: Érica, 1995.
- Folha de dados do codificador **MC145026** e do decodificador **MC145027** da Motorola. Japão. Disponível em: [http://www.datasheetcatalog.net/pt/datasheets\\_pdf/M/C/1/4/MC145026.shtml](http://www.datasheetcatalog.net/pt/datasheets_pdf/M/C/1/4/MC145026.shtml). Acesso em: 11 fev. 2007.
- Folha de dados do módulo transmissor de RF **RT4** da Telecontrolli. Itália. Disponível em: <http://www.telecontrolli.com/pdf/transmitter/rt4.pdf>. Acesso em: 05 ago 2008.
- Folha de dados do módulo receptor de RF **RR3** da Telecontrolli. Itália. Disponível em: <http://www.telecontrolli.com/pdf/receiver/rr3.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2008.
- Folha de dados ULN2003, Allegro Microsystems.
- MIAS, C., TSAKONAS, C., 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.
- MITTRA, R., CHAN C. H., CWIK, T., **Techniques for analyzing frequency selective surfaces – a review**. IEEE Proc. 76, (12), 1593-1615 (1988).



MONTEIRO, T. H. W., SOUZA, W., ALBUQUERQUE, H., SILVA, P. H. da F., Controle sem fio de uma esteira transportadora através de computador. *In: II CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA*, 1., 2007. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: CEFET-PB. 1 CD-ROM.

PASSOS, M. G., MEDEIROS, R. B., CARVALHO, R. B., SILVA, P. H. da F., Projeto, fabricação e medição de filtros rejeita-faixa utilizando estruturas periódicas PBG-GP e superfícies seletivas em frequência. *In: I CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA*, 1., 2006, Natal. **Anais ...** Natal: CEFET-RN. 1 CD-ROM.

SOUZA, V., OLIVEIRA, E. C. E., BELMIRO, Y. B. C., SILVA, P. H. da F., Um sistema digital de controle de posição para orientação de antenas direcionais via computador. *In: I CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA*, 1., 2006, Natal. **Anais ...** Natal: CEFET-RN. 1 CD-ROM.

WU T. K., **Frequency selective surface and grid Array**. John Wiley & Sons, Inc., 1995.