

Análise das principais técnicas de alargamento de banda em antenas de microfita com plano de terra contínuo

*Renato Abner Oliveira Silva, Maurício Henrique Costa Dias, José Carlos Araujo dos Santos

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Seção de Engenharia Elétrica (SE/3)

Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

*renatoabner@yahoo.com.br

RESUMO: Este artigo apresenta uma análise da aplicação das principais técnicas de alargamento de banda em antenas de microfita que possuem um plano de terra contínuo. O artigo visa o projeto de antenas para sistemas de comunicações de banda larga a serem montadas em superfícies metálicas planas ou ligeiramente curvas, como nas laterais de viaturas militares, foguetes e veículos aéreos não tripulados. As técnicas de alargamento de banda analisadas se baseiam na introdução de ressonâncias adicionais à resposta da antena, tais como o uso de elementos parasitas e de fendas, assim como do uso de substratos espessos e de baixa permissividade. Como prova de conceito, algumas técnicas são aplicadas a uma antena patch retangular simples. Com o auxílio de um simulador computacional, os resultados da aplicação dessas técnicas são avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: Antenas de Microfita. Antenas de Banda Larga. Técnicas de Alargamento de Banda. Antena Plana.

ABSTRACT: This paper presents an analysis of the main techniques for enhancing the bandwidth of microstrip antennas with continuous ground plane. The paper aims at the design of antennas for wide band communication systems to be installed on flat or slightly curved metallic surfaces, such as on the sides of military vehicles, rockets and drones. The techniques are based on the introduction of additional resonances, such as the use of parasitic elements and slots, and the use of thick and low permittivity substrates. As proof of concept, some of the studied techniques are applied to an ordinary rectangular patch antenna and, with the aid of computer simulation, the results of the applied techniques are evaluated.

KEYWORDS: Microstrip Antennas. Broadband Antennas. Broadband Techniques. Patch Antenna.

1. INTRODUÇÃO

Antenas de microfita são empregadas em diversos equipamentos civis e militares. Com a moderna tecnologia de circuitos impressos, elas se tornaram discretas, moldáveis a superfícies curvas, de baixo custo e mecanicamente robustas, particularmente quando montadas sobre superfícies rígidas. Podem ser instaladas em aeronaves, satélites, mísseis, radares, automóveis, telefones celulares, possuindo assim enorme versatilidade.

A principal desvantagem das antenas de microfita está relacionada à sua banda de frequências de operação, que normalmente é estreita nas configurações usuais. A largura de banda de uma antena de microfita varia tipicamente de 1 a 5% em relação à frequência central. Isso contrasta com larguras de banda de 15 a 50% de outras antenas, como dipolos, antenas de fendas e antenas em guias de onda do tipo corneta [1].

Para superar as limitações de banda, algumas técnicas de projeto podem ser empregadas. Os trabalhos propostos em [1], [2], [3] e [4] apresentaram antenas de microfita modificadas, com bandas aumentadas. Valores de largura de banda de antenas patch de microfita de até 70% foram obtidas [2].

Na literatura podem ser encontradas algumas técnicas que utilizam modelos tridimensionais, fazendo com que o substrato e o patch não sejam montados uniformemente sobre a superfície metálica do plano de terra, como aquelas que trazem o patch em forma de V ou em forma de cunha acima do plano de terra [3]. A antena monopolo planar também possui uma característica semelhante, em que o plano

do patch é perpendicular ao plano de terra [2].

Visando aplicações em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's), foguetes e blindados, são abordadas neste trabalho as técnicas de alargamento de banda que não produzem alteração do plano de terra da antena, de forma que a antena possa ser facilmente adaptada à superfície do veículo onde será instalada. Nestes casos, as camadas de substrato e patch são mantidas de forma contígua ao plano de terra.

As principais técnicas de alargamento de banda para projeto das antenas de microfita de interesse são baseadas em um ou mais dos seguintes princípios [5]:

- 1) Uso de elementos parasitas ou fendas, onde ressonâncias são introduzidas de forma que em conjunto com a ressonância principal produzam um aumento de banda; e
- 2) Uso de substratos espessos e de baixa permissividade.

2. AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ALARGAMENTO DE BANDA

Com base nos princípios elencados das técnicas de alargamento de banda de interesse, são analisados a seguir os efeitos dos parâmetros do substrato, dos perfis (patches) modificados e das múltiplas ressonâncias na largura de banda das antenas de microfita.

2.1 Efeitos dos Parâmetros do Substrato na Largura de Banda

A largura de banda de uma antena de microfita varia in-

versamente com seu fator de qualidade Q [2], cuja relação é dada por:

$$BW = \frac{VSWR - 1}{Q\sqrt{VSWR}} \quad (1)$$

onde BW é a largura de banda da antena e $VSWR$ é a taxa de onda estacionária.

Parâmetros do substrato, tais como constante dielétrica (ϵ_r) e espessura (h), podem ser variados para gerar diferentes valores de Q , e, conseqüentemente, produzir um aumento na largura de banda.

Evidenciou-se em [6], através de medições, que a largura de banda da antena de microfita cresce monotonicamente com o aumento da espessura do substrato e com o decréscimo da constante dielétrica.

Foi mostrado em [1], para uma antena *patch* retangular, que o fator Q aumenta quase linearmente com o aumento de ϵ_r . Modelando o *patch* retangular como um capacitor com perdas, o aumento em Q é explicado pelo fato de a energia armazenada aumentar e a potência irradiada diminuir com o aumento de ϵ_r . Similarmente, quando a espessura do substrato é aumentada, o decréscimo na energia armazenada diminui o fator Q . Fisicamente, este comportamento ocorre porque os campos franjados crescem com o aumento de h e a redução de ϵ_r .

Assim, com base na Eq. 1, pode-se afirmar que o aumento de h e a redução de ϵ_r podem ser usados para alargar a banda da antena.

Há, contudo, desvantagens em se utilizar substratos espessos, incluindo a ocorrência de ondas superficiais, que produzem uma eficiência de radiação pobre [1].

A radiação de ondas superficiais pode levar a uma degradação do diagrama próximo à direção longitudinal (do ingl., *end-fire*). Adicionalmente, esses tipos de substratos com alimentação *microstrip* possuem maior radiação espúria na transição da linha para o *patch*, onde a largura da linha é alterada. No caso de uma alimentação coaxial, a radiação também aumenta. Ainda com substratos espessos, uma alimentação com linha coaxial aumenta a reatância indutiva, resultando em problemas de descasamento de impedância. Modos de ordem superior ao longo da espessura do substrato também podem ser gerados, produzindo distorções nos diagramas de radiação e nas características da impedância.

Sempre que possível, busca-se uma solução de compromisso entre substrato espesso e permissividade baixa para evitar os problemas citados.

2.2 Modelos de Patches Modificados

Alguns modelos de *patches* têm um fator de qualidade inerentemente baixo. Isso ocorre devido à pouca energia armazenada próximo ao *patch* e à alta radiação. Os anéis anular, retangular e quadrado, o *patch* de quarto de onda e a antena com fenda em U são alguns exemplos de estruturas modificadas [1],[2].

As possibilidades de alteração nos *patches* das antenas para alargamento de banda são inúmeras. Contudo, além dos efeitos na banda, outras características elétricas da antena, como polarização e ganho, são afetadas [4]. Neste contexto, torna-se impraticável definir uma regra geral para a seleção do modelo de *patch* exclusivamente baseada na otimização da largura de banda.

Algumas configurações envolvem a adição de fendas res-

sonantes que se acoplam ao *patch*. Se as frequências de ressonância de uma fenda e do *patch* são próximas, então uma banda mais larga pode ser obtida. Entretanto, deve-se atentar para a necessidade de que a polarização dos campos radiados da fenda e do *patch* sejam similares, de forma que o diagrama se mantenha estável sobre toda a banda de trabalho.

O principal modelo que utiliza fendas ressonantes é o da antena com fenda em U [7], como mostrado na Fig. 1. Uma fenda ressonante com formato em U é cortada simetricamente ao redor do centro do *patch*. Neste caso, a frequência de ressonância do *patch* muda levemente em comparação com a frequência de ressonância da fenda. A fenda em U pode ser inserida em *patches* retangulares, circulares e triangulares [3]. Substratos espessos e de baixa permissividade são normalmente utilizados nestas antenas, sendo o ar um excelente meio para esse tipo de técnica.

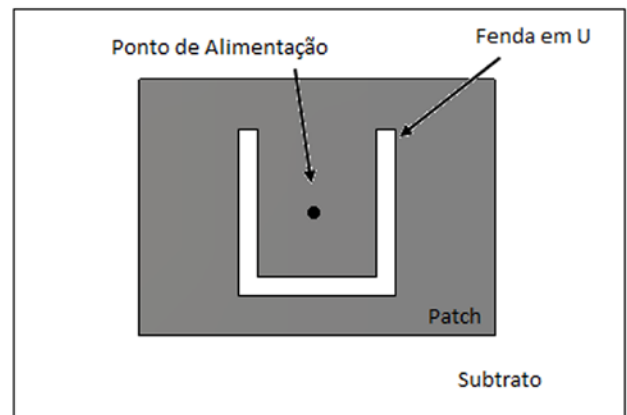


Fig 1: Geometria da antena *patch* retangular com fenda em U.

A fenda provê uma capacitância que compensa a indutância introduzida pela sonda da linha coaxial [5]. Ela também introduz uma ressonância adicional que, como discutido anteriormente, em conjunto com a ressonância principal, altera a resposta de banda. Uma desvantagem é que, nas frequências limites da banda, a polarização cruzada é alta [5]. Em [8] é apresentado um desenvolvimento de um roteiro de projeto aproximado para antenas com fendas em U. Em outro exemplo [3], foi obtida uma banda de 27,5% em torno de 1815 MHz.

Utilizando um modelo no formato da letra E em vez de U resulta em uma resposta em banda similar à apresentada para a fenda em U [3]. A Fig. 2 apresenta a geometria da fenda em E para uma antena *patch* retangular. O *patch* com fenda em E é formado pela inserção de um par de fendas largas na borda do *patch*. Esta configuração pode ser aplicada em antenas com *patches* retangulares, circulares ou triangulares.

Resultados apresentados em [9] demonstraram que este tipo de antena pode alcançar larguras de banda de 24,8% em torno de 1644 MHz. Também foi concluído que o comprimento l da fenda deve ficar entre 0,7 e 0,85 l , e o espaçamento entre as bordas externas das fendas ($2w_1 + w_2$) em aproximadamente 0,27 W (com a notação das variáveis mostrada na figura). Foi observado que dois modos ressonantes adjacentes são excitados, o que leva a um aumento da largura de banda. Esta característica é similar à observada na antena com fenda em U.

Avaliações foram feitas por [10] com a antena circular com fenda em E, alcançando uma banda de 35,6% em torno de 1,8 GHz. A técnica consiste de uma alimentação acopla-

da de forma capacitiva. Para esta antena, um grupo de três modos ressonantes adjacentes é excitado com um bom casamento de impedância, proporcionando banda larga. O ganho máximo para este tipo de antena é em torno de 7,9 dBi, com uma variação dentro da banda de menos de 1,4 dB.

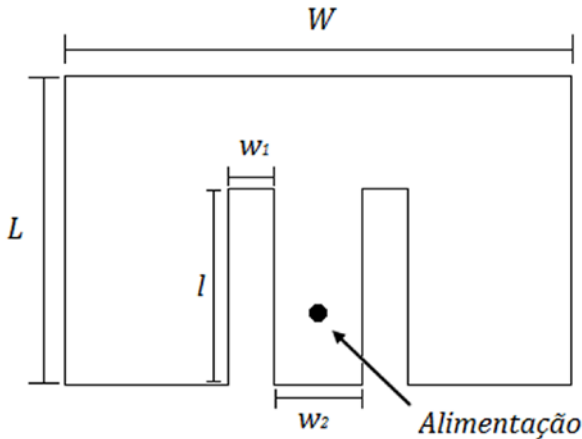


Fig 2: Geometria da fenda em E para um patch retangular.

Além dos modelos dos patches, as sondas coaxiais que alimentam a antena também podem ser modificadas. Na Fig. 3, o condutor central da sonda é dobrado, formando um L. O braço horizontal da sonda em L introduz uma capacitância que compensa a indutância introduzida pela sonda. Essa estrutura também introduz uma ressonância adicional. Mais de 30% de banda pode ser alcançado com o ar como substrato ou com um material espumoso com espessura de 0,1 do comprimento de onda da frequência central da banda [5]. Similarmente ao caso da fenda em U, a polarização cruzada desta configuração é alta nos limites da banda. O esquema não é muito adequado para substratos sólidos.

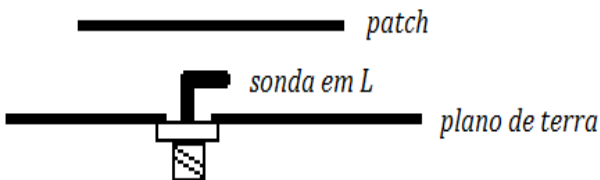


Fig 3: Alimentação com sonda em L.

2.3 Configurações com Multirressonadores Planares

Na técnica de multirressonadores planares, somente um patch é alimentado e os demais são acoplados como parasitas. O acoplamento entre os múltiplos ressonadores pode ser feito usando um pequeno espaçamento entre os patches ou conectando-os diretamente através de uma fina linha microstrip. Em alguns casos, um acoplamento híbrido é utilizado. Patches com formas retangular, circular, semicircular e triangular (equilátero ou isósceles) têm sido usados no acoplamento, produzindo larguras de banda de 5 a 20% para um $VSWR \leq 2$ [2].

O mecanismo do acoplamento parasita para alargamento de banda pode ser explicado considerando que um patch colocado próximo ao patch alimentado é excitado através do acoplamento entre os dois. Tal patch é denominado de patch parasita. Se as frequências de ressonâncias f_1 e f_2 desses patches são próximas, então uma banda

larga é produzida, como ilustrado na Fig. 4. O VSWR de entrada total será a superposição das respostas individuais dos dois ressonadores. Se a banda de um patch individual é estreita, então a diferença entre f_1 e f_2 deve ser pequena. Caso contrário, a diferença entre as duas frequências pode ser maior para produzir uma banda total mais larga.

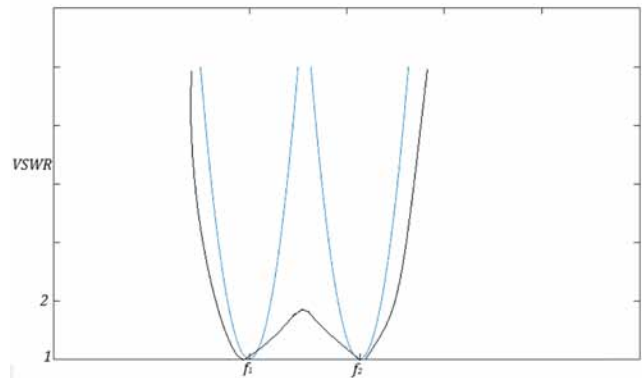


Fig 4: VSWR de dois ressonadores acoplados (linhas azuis), produzindo uma maior largura de banda (linha preta).

Uma antena de microfita retangular excitada no modo fundamental TM_{10} tem uma variação de meio comprimento de onda ($\lambda/2$) no campo ao longo de seu comprimento e tem um campo uniforme ao longo de sua largura [2]. As bordas ao longo da largura e do comprimento da antena retangular são as bordas radiantes e não-radiantes, respectivamente. Dois patches acoplados por espaçamento ao patch principal ao longo das bordas radiantes podem produzir uma largura de banda 5,1 vezes aquela de um simples patch retangular, enquanto que se o acoplamento for ao longo das bordas não-radiantes, podem produzir largura de banda de 4 vezes a obtida com um patch simples [1]. Um ou dois elementos parasitas podem ser colocados ao longo das bordas do patch alimentado.

A Fig. 5 mostra o acoplamento por espaçamento de uma configuração com multirressonadores. Na figura, x é a distância do ponto de alimentação com relação ao centro do patch, e s é o espaçamento do patch parasita ao patch alimentado.

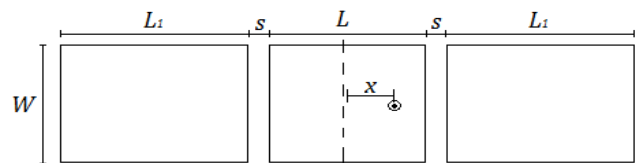


Fig 5: Configuração com multirressonadores acoplados por espaçamento com dois parasitas ao longo das bordas radiantes.

Para o caso do acoplamento nas bordas radiantes, o patch parasita é excitado devido ao acoplamento com os campos franjados ao longo da largura do patch alimentado. Para ocorrer o casamento de impedância com perda de retorno maior que 10 dB em banda larga é necessário ajustar os parâmetros constitutivos da antena, otimizando-os para um melhor resultado [2]. Quando somente um patch parasita é utilizado, à medida que a frequência aumenta dentro da banda, o feixe de máximo do diagrama de radiação se desloca da direção transversal à antena e o diagrama torna-se assimétrico em relação a essa direção. Para obter um diagrama simétrico na direção transversal, patches parasitas

idênticos devem ser acoplados em ambas as bordas radiantes do *patch* alimentado.

Além das configurações com parasitas nas bordas radiantes ou nas bordas não-radiantes do *patch* excitado, também há a possibilidade de inserir *patches* parasitas nas quatro bordas do *patch* excitado [2]. Neste caso, os *patches* são construídos com larguras iguais, entretanto com comprimentos diferentes, fazendo com que suas frequências de ressonância sejam diferentes, porém próximas, para produzir maior largura de banda.

Apesar de produzir alargamento de banda, o uso de multirressonadores planares também possui algumas desvantagens, como o aumento do tamanho da antena no plano do *patch*, assim como a geração de um diagrama de radiação com comportamento instável sobre a banda em alguns casos [2].

2.4 Configurações em Multicamadas

Outra configuração possível de uso de múltiplos ressonadores para alargamento de banda consiste no empilhamento dos *patches* em multicamadas. Isto aumenta a altura total da antena, mas o tamanho na direção planar permanece inalterado. Tal configuração é bastante atrativa para elementos de conjuntos de antenas.

Com base no mecanismo de acoplamento, essas antenas são classificadas como de acoplamento eletromagnético ou de acoplamento por abertura [2]. As configurações em multicamadas podem produzir bandas de 70% para um $VSWR \leq 2$, com pequena variação do diagrama de radiação sobre a banda.

A Fig. 6 mostra duas configurações básicas de uma antena com acoplamento eletromagnético. O *patch* inferior é alimentado com uma linha coaxial e o *patch* superior é excitado por acoplamento eletromagnético. Os *patches* podem ser fabricados em diferentes camadas, separadas por um espaçamento de ar ou de um material espumoso (do ingl. *foam material*). Este espaçamento é introduzido para aumentar a largura de banda da antena. Na configuração normal, mostrada na Fig. 6(a), o *patch* parasita está sobre o lado superior do substrato. Na configuração invertida, da Fig. 6(b), o *patch* parasita está sobre o lado inferior do substrato superior. Neste caso, a camada dielétrica superior também atua como protetora do ambiente. As dimensões da antena são otimizadas para que as frequências de ressonância dos dois *patches* estejam próximas para produzir uma banda larga. Este conceito é aplicável a qualquer modelo de *patch* [2].

Antenas com acoplamento eletromagnético com duas ou três camadas de *patches* (retangular, circular ou triangular) proveem uma largura de banda de impedância de 10 a 30% para um $VSWR \leq 2$. O aumento de banda é conseguido com o aumento da altura resultante da antena, com a diminuição na constante dielétrica efetiva (compondo o meio entre os dois *patches* com ar ou espuma) e com o efeito dos multirressonadores.

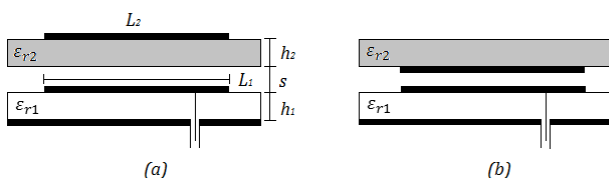


Fig 6: Antenas de microfita com acoplamento eletromagnético em multicamadas: configurações (a) normal e (b) invertida.

Outra possibilidade é alimentar o *patch* superior por uma sonda coaxial passando através do *patch* inferior (o *patch* inferior não é conectado diretamente à sonda). Um pequeno orifício é feito ao redor da sonda de alimentação no *patch* inferior. O *patch* intermediário é excitado através do acoplamento eletromagnético que surge da sonda e do *patch* superior. Uma alimentação com linha *microstrip* acoplada eletromagneticamente ao *patch* também pode ser utilizada. Nesta configuração, a linha de alimentação *microstrip* pode ser fabricada sobre uma fina camada de substrato com alta constante dielétrica, de forma a reduzir a radiação da alimentação. O *patch* superior pode ser produzido sobre um substrato espesso com baixa constante dielétrica, para alargar a banda. A inexistência de conexão entre a alimentação e o *patch* é uma vantagem desta configuração. Adicionalmente, um pequeno desalinhamento entre o *patch* e a alimentação produz pouca alteração nas características da antena, ao contrário do caso da alimentação coaxial.

Similarmente ao acoplamento eletromagnético, o acoplamento por abertura é outra forma de alimentação de um *patch* ressonante. A antena consiste de dois substratos separados por um plano de terra com uma abertura. O substrato superior contém o elemento radiante, e o substrato inferior contém a linha de alimentação *microstrip*. A pequena abertura no plano de terra permite o acoplamento da linha *microstrip* em aberto para o *patch* radiante. Com a otimização de seus parâmetros construtivos, incluindo as dimensões da abertura, uma largura de banda próxima a 70% pode ser alcançada [2].

3. AVALIAÇÃO COMPUTACIONAL DAS TÉCNICAS APRESENTADAS

A seguir são apresentados os resultados das simulações de antenas de microfita com as técnicas de alargamento de banda descritas anteriormente. São estudos de caso que permitem explorar suas características, aplicabilidades, vantagens e desvantagens. As técnicas são aplicadas em antenas originalmente de banda estreita.

Os projetos das antenas são iniciados com a determinação de valores iniciais de seus parâmetros construtivos a partir de equações disponíveis na literatura. Após isso, aplica-se a técnica de alargamento de banda em conjunto com um método de otimização de forma a se alcançar o objetivo desejado. Em todos os casos, uma perda de retorno maior que 10 dB na faixa de frequência de operação da antena é almejada. O aplicativo CST Microwave Studio® foi utilizado em todas as simulações para esse propósito.

3.1 Antena com Fenda em U

Como discutido, a inserção de fendas em antenas de microfita faz com que novas ressonâncias surjam com o acoplamento com o *patch* original. A fenda em U é utilizada principalmente com substratos espessos, proporcionando um melhor resultado em termos de banda.

Utilizando as equações apresentadas por [4] para uma antena com fenda em U, onde se deseja, como exemplo, uma frequência central de 2,55 GHz, obtém-se, após otimização, uma banda de 24,2%. A Fig. 7 mostra o resultado obtido, onde pode-se notar a inserção de uma nova ressonância devida à fenda em U. Uma antena de microfita retangular simples com as características físicas semelhantes apresenta, normalmente, bandas que variam de 1 a 5%, como discutido ante-

riormente. Sua resposta, para a mesma frequência central, está incluída na Fig. 7.

No processo de otimização, as dimensões do *patch* projetado inicialmente para a frequência desejada em uma antena simples (43,03 x 34,4 mm²) são alteradas com a inserção da fenda, de forma a se ajustar a frequência central da antena. Na comparação das respostas da Fig. 7, apesar de se tratar da mesma antena base, a antena final tem as dimensões levemente alteradas (56,45 x 33,9 mm²).

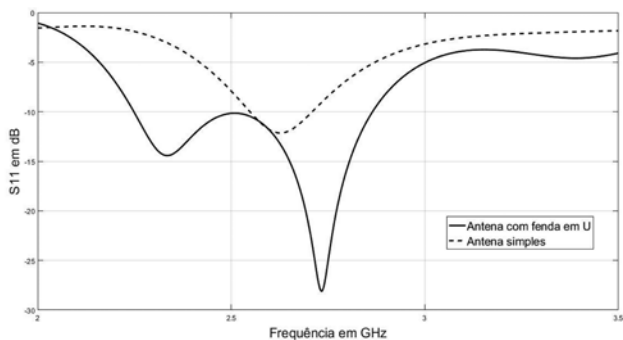


Fig 7: Comparação de S11 em função da frequência para antena com fenda em U e antena simples na mesma frequência central.

Segundo [4], existe um limite inferior para a espessura do substrato abaixo do qual a operação em banda larga é improvável. A literatura apresenta uma fórmula prática para se obter um valor inicial dessa espessura, dada pela Eq. 2:

$$h \geq 0,06 \frac{\lambda(ar)}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Observa-se que esse princípio de alargamento de banda requer que a antena tenha substrato espesso, o que não é prático com materiais diferentes do ar, pois isso aumentaria o perfil da antena, seu peso e certamente seu custo de fabricação. Substratos comerciais possuem espessura em torno de 2 mm ou menos, havendo assim a necessidade de empilhá-los para obter-se espessuras maiores. Vale mencionar que, no presente caso de estudo, a espessura calculada para a antena foi de 8,58 mm. Com o ar como substrato, esse problema deixa de existir. Em contrapartida, é preciso desenvolver uma estrutura dielétrica que sustente a camada do *patch* sobre o plano de terra, o que pode tornar a antena mais vulnerável a condições operacionais, dependendo de sua aplicação.

3.2 Uso de Multirressonadores Planares

O uso de multirressonadores planares é exemplificado com uma antena de microfita retangular, com um substrato de teflon ($\epsilon_r=2,1$) com altura do dielétrico $h = 1,63$ mm. Utiliza-se uma alimentação por conexão coaxial.

O projeto parte de uma antena de microfita retangular simples, sem nenhuma modificação. A antena possui comprimento $L = 35,07$ mm e largura $W = 39,43$ mm. Com essas dimensões de *patch* e substrato, obtém-se o resultado da linha tracejada da Fig. 8. A frequência de ressonância projetada é de 2,75 GHz.

Foram feitos, então, sucessivos testes com o objetivo de aumentar a largura de banda dessa antena. Primeiramente foram colocados *patches* parasitas nas bordas radiantes do *patch* alimentado e, com essa configuração, obteve-se uma banda de 5,53%, contra 1,12% da antena simples. Referindo-se à Fig. 5, o espaçamento s entre os *patches* é de 2,5 mm e

o comprimento L_1 dos *patches* parasitas é de 33,5 mm. Esse resultado pode ser observado na Fig. 8.

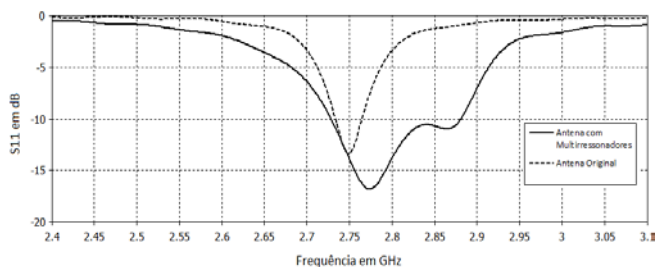


Fig 8: S11 de uma antena de microfita retangular com e sem aplicação da técnica de multirressonadores com dois parasitas ao longo das bordas radiantes do *patch* alimentado.

Com o intuito de aumentar mais a banda da antena, a técnica da inserção de multirressonadores foi novamente aplicada, desta vez com quatro parasitas com comprimento de 32 mm cada, dispostos nos quatro lados do *patch* alimentado. O espaçamento do *patch* alimentado com os parasitas da horizontal foi de 2,5 mm e com os parasitas na vertical de 0,489 mm. A banda foi ampliada para 8,54% com essa técnica. Além disso, a resposta foi deslocada para a direita no gráfico com relação à frequência de ressonância original da antena simples (Fig. 9), fato este que pode ser superado com um simples ajuste do comprimento e da largura do *patch* alimentado.

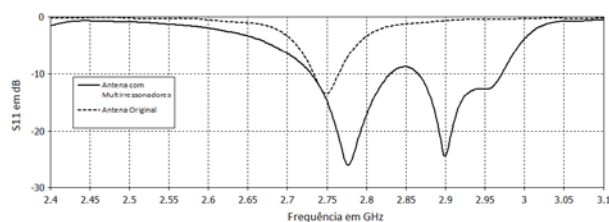


Fig 9: S11 de antena retangular simples e da mesma antena com a aplicação da técnica de multirressonadores com quatro parasitas ao longo das bordas do *patch* alimentado.

De acordo com as considerações sobre os efeitos dos parâmetros do substrato na largura de banda, quanto maior a altura h do substrato, maior a banda da antena. Partindo dessa premissa, dobrando-se a altura do substrato em questão com os quatro parasitas, obteve-se uma largura de banda ainda maior como mostrado na Fig. 10. Com essa configuração, a largura de banda passou para 12,74%. Neste caso fez-se uso de duas abordagens diferentes de forma simultânea com o intuito de alargar a banda da antena.

Apesar de atender o objetivo principal de alargamento de banda, essa configuração torna-se não adequada em casos onde não se tem disponível uma grande área para instalação da antena, visto que a antena mais que dobra de tamanho em cada dimensão do plano, quando comparado à antena simples.

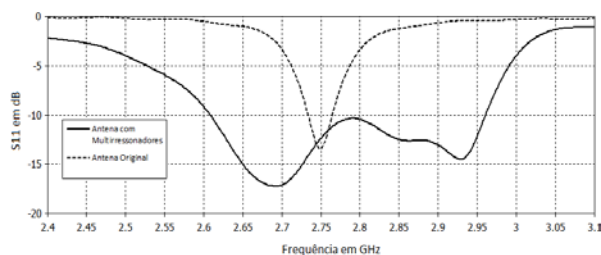


Fig 10: S11 de antena retangular simples e da mesma antena com a aplicação da técnica de multirressonadores com quatro parasitas ao longo das bordas do *patch* alimentado dobrando-se a espessura do substrato.

3.3 Antena com Acoplamento por Abertura e Parasita Empilhado

Para essa técnica, foi projetada uma antena com alimentação por acoplamento por abertura e mais um *patch* parasita empilhado sobre o alimentado. O substrato da antena original foi o Rogers 5880 com permissividade igual a 2,2 e espessura 1,57 mm. O *patch* apresentou dimensões de 49x53 mm². O *patch* parasita de dimensões 81x65 mm², tinha como substrato o ar com espessura de 10 mm. Essa configuração é mostrada por [1]. A largura de banda da antena sem o *patch* parasita, com apenas uma alimentação por abertura, é de 1,36%. Quando o *patch* parasita é inserido, a banda passa para 18,49%. A Fig. 11 mostra estes resultados. Essa antena representa uma excelente alternativa para situações em que seja necessário manter a área inalterada, largura x comprimento do *patch*, após aplicação da técnica de alargamento. Porém, um substrato de ar não é de simples construção para o *patch* parasita, pois necessita de postes dielétricos para sustentação, o que gera limitações de ordem estrutural, como discutido anteriormente.

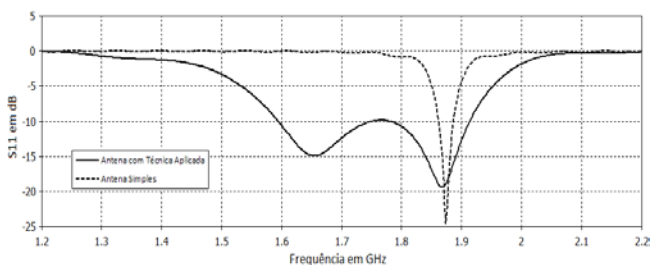


Fig 11: S11 de uma antena retangular simples com alimentação por abertura e com a inserção de um *patch* parasita empilhado.

4. CONCLUSÃO

A antena de microfita, apesar de inúmeras vantagens, possui como principal característica uma operação em banda estreita, que limita a sua aplicação nos sistemas de comunicações atuais. Entretanto, verifica-se que, com o uso de técnicas de alargamento de banda, este problema pode ser contornado, transformando a antena de microfita em um bom elemento radiante também em bandas relativamente largas.

Com vistas a aplicações em VANTs, foguetes e blindados, restringiu-se a análise às principais técnicas de alargamento de banda para antenas de microfita montadas em superfícies metálicas contínuas. Dependendo das especifici-

dades da aplicação desejada para a antena, uma ou outra técnica deve ser aplicada.

As técnicas de alargamento de banda foram analisadas através de simulações no CST, com base no coeficiente de reflexão (S11), onde pôde-se avaliar as características, aplicabilidades, vantagens e desvantagens de cada técnica.

A técnica de multirressonadores planares mantém a altura original da antena, adicionando-se parasitas no mesmo plano do *patch* principal. Contudo, esta técnica aumenta a área da antena, podendo tornar sua instalação inviável, dependendo da aplicação.

A técnica em multicamadas, que apresenta parasitas empilhados sobre a antena original, consegue manter a área utilizada originalmente por uma antena simples, porém aumenta a altura da antena. Se essa dimensão for crítica no sistema a ser aplicado, a técnica não deverá ser utilizada.

Caso qualquer dimensão da antena, seja altura ou área, não possa ser aumentada no sistema, recomenda-se a aplicação de técnicas de modificação do modelo do *patch*, particularmente com a inserção de fendas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Garg, P. Barthia, I. Bahl, A. Ittipiboom, "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House: Boston – USA, 2001.
- [2] G. Kumar, K. P. Ray, "Broadband Microstrip Antennas", Artech House: Boston, 2003.
- [3] K. L. Wong, "Compact and Broadband Microstrip Antennas", John Wiley & Sons: New York, 2002.
- [4] J. L. Volakis, "Antenna Engineering Handbook", 4th ed., McGraw-Hill: New York, 2007.
- [5] K. F. Lee, K. F. Tong, "Microstrip *patch* antennas – basic characteristics and some recent advances"; IEEE Proc., vol. 100, no. 7, pp. 2169-2180, 2012.
- [6] D. M. Pozar, "Microstrip Antennas"; IEEE Proc., vol. 80, n.º.1, pp. 79-91, 1992.
- [7] T. Huynh, K. F. Lee, "Single-layer single-*patch* wideband microstrip antenna"; Electronics Letters, vol. 31, no. 16, pp.1310-1312, 1995.
- [8] S. Weigand, G.H. Huff, K.H. Pan, J.T. Bernhard. "Analysis and design of broad-band single-layer rectangular U-slot microstrip *patch* antennas"; IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 3, pp 457-468, 2003.
- [9] K. L. Wong, W. H. Hsu, "A broadband rectangular *patch* antenna with a pair of wide slits"; IEEE Trans. Antennas Propagat. vol 49, n.º 9, pp. 1345-1347, 2001.
- [10] W. H. Hsu, G. Y. Lee, K. L. Wong, "A wideband capacitively fed circular-E *patch* antenna"; Microwave Opt. Technol. Lett. vol 27, n.º2, pp. 134-135, 2000.