

Antenas em Fenda Anelar Circularmente Polarizadas para Sistemas GNSS

Lucas S. Pereira, Roger L. Farias, Cleiton Lucatel, Marcos V. T. Heckler e Alexis F. Tinoco S.

Resumo—Este artigo apresenta o estudo e projeto de antenas de microfita com geometria em fenda anelar para aplicações em sistemas de navegação via satélite. Duas estruturas são propostas contendo uma fenda anelar construída sobre um laminado de micro-ondas e alimentação em série ou através de um acoplador híbrido de 90° na parte inferior. Através dos resultados obtidos com ferramentas computacionais e protótipos, pôde-se obter uma antena com polarização circular à direita, ampla largura de banda, diagrama de irradiação quase hemisférico e pureza de polarização satisfatória para a aplicação desejada.

Palavras-Chave—Antena em fenda anelar, antenas para sistemas de navegação via satélite, antena circularmente polarizada, GPS, GNSS.

Abstract—This paper presents the study and design of annular slot antennas for satellite navigation systems. Two structures are analyzed: one structure has a series feed scheme, whereas the other is composed of an integrated 90° hybrid coupler. One of the designed antennas exhibits right-hand circular polarization, wide bandwidth, wide half-power beamwidth and acceptable polarization purity for the desired application. These characteristics are demonstrated by theoretical and experimental results.

Keywords—Annular slot antenna, antennas for satellite navigation systems, circularly polarized antenna, GPS, GNSS.

I. INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos em circuitos impressos e as crescentes pesquisas em materiais de baixas perdas na faixa de micro-ondas, surgiram as antenas de “microfita”. Estas estruturas apresentam diversas vantagens em relação a antenas convencionais como baixo peso, volume e tamanho. São antenas compactas, apresentam bom perfil aerodinâmico para aplicações aeroespaciais, são facilmente integradas a circuitos eletrônicos e dispositivos ativos, além de serem muito versáteis em termos de polarização e impedância de entrada [1]-[2]. Inicialmente, estas antenas apresentavam apenas um elemento irradiador, denominado *patch*, disposto sobre um plano de terra [3]-[4]. Além das antenas de microfita, há ainda outras topologias relatadas na literatura que podem ser construídas com tecnologias convencionais de circuito impresso. Uma dessas geometrias é a antena em fenda anelar, que apresenta elemento irradiador na forma de uma fenda em anel no plano

Lucas S. Pereira, Roger L. Farias, Cleiton Lucatel e Marcos V. T. Heckler, Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, Alegrete-RS, Brasil, E-mails: lukasdacla@gmail.com, rogerlorenzoni@gmail.com, cleiton.lucatel@unipampa.edu.br e marcos.heckler@unipampa.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), processo 11/1740-1.

de terra (parte superior do substrato) e a linha de alimentação na parte inferior do laminado [5].

As antenas de microfita têm sido muito utilizadas em receptores para sistemas globais de navegação via satélite (do inglês, *global navigation satellite systems* - GNSS). Estes sistemas tornaram-se muito populares com a abertura do sistema americano de posicionamento global (do inglês, *global positioning system* - GPS) ao público civil, o que viabilizou uma série de aplicações como localização de veículos particulares e outras embarcações civis.

Com a finalidade de atender aos requisitos mínimos dos sistemas GNSS, duas topologias com geometria em fenda anelar são propostas neste trabalho. Estas estruturas apresentam vantagens em relação às antenas de microfita convencionais como menor sensibilidade a tolerâncias inerentes ao processo de fabricação e faixa de operação mais larga. A geometria em fenda anelar possibilita a produção de geometrias multi-banda com configuração coplanar, que apresenta construção e custo menores que outras estruturas encontradas na literatura baseadas na técnica de sobreposição de elementos [6]-[8].

Na seção II, os principais requisitos para a operação de uma antena em aplicações GNSS serão descritos. Em seguida será apresentada a primeira geometria proposta, que foi projetada com esquema de alimentação em série. A seção IV descreve o projeto da antena alimentada através de um acoplador híbrido de 90°. Ao longo das discussões, resultados teóricos e experimentais são apresentados.

II. CONSIDERAÇÕES SOBRE ANTENAS PARA APLICAÇÕES EM GNSS

A antena projetada neste trabalho deverá operar na banda L1 (1565.42 – 1585.42 MHz). Além deste requisito o protótipo deverá apresentar diagrama de irradiação com grande ângulo de meia-potência, uma vez que um receptor GNSS deve ser capaz de receber sinais de satélites que se encontrem desde o zênite até regiões próximas ao horizonte. Em termos de diagrama de irradiação, a variação do seu ganho não deve ser maior que 10 dB do zênite até 5° de elevação acima do horizonte. Adicionalmente, o coeficiente de reflexão (S_{11}) não poderá assumir valores maiores que -10 dB e a razão axial (AR) deverá estar abaixo de 3 dB, para toda a banda L1.

A operação com polarização circular pode ser obtida de diferentes formas, sendo a mais simples através da perturbação de modos. Esta técnica consiste basicamente em truncar os cantos de um *patch* quadrado ou utilizar antenas com geometria quase quadrada. Sua maior vantagem é o fato de necessitar apenas de um ponto de alimentação e uma camada

dielétrica. Como principal desvantagem, esta técnica apresenta pureza de polarização aceitável apenas para uma estreita faixa de frequências, além de apresentar alta sensibilidade ao processo construtivo e ao acoplamento mútuo, no caso de o irradiador estar integrado a uma rede de antenas [9].

Outra forma de se obter polarização circular é através da utilização de dois pontos de alimentação ortogonais e com correntes de excitação defasadas em 90°. Como desvantagem, destaca-se o fato da necessidade de mais camadas dielétricas para a construção do irradiador e das linhas de alimentação. No entanto, a principal vantagem é a maior robustez às tolerâncias no processo de fabricação, além de possibilitar uma faixa mais larga de operação em termos de razão axial. Portanto, esta foi a técnica empregada para as antenas propostas, as quais serão descritas com mais detalhes nas seções seguintes.

III. ANTENA CIRCULARMENTE POLARIZADA COM SISTEMA ALIMENTADOR EM SÉRIE

A estrutura básica desta antena apresenta seção transversal composta por um laminado de micro-ondas TACONIC TLC-338, uma camada de ar e um plano de terra inferior, conforme detalhado na Fig. 1. O laminado que contém a fenda anelar apresenta constante dielétrica $\epsilon_r = 3,38$ e tangente de perdas de 0,0025. A estrutura da fenda anelar é fechada por uma cavidade, composta por um plano de terra inferior e paredes laterais construídas com FR4, de modo a reduzir a irradiação traseira. A camada de ar existente entre o sistema de alimentação e o plano de terra inferior possui espessura de 10 mm. Para a construção do protótipo, a espessura da camada de ar foi garantida através de espaçadores de acrílico; todos esses detalhes geométricos foram incluídos no modelo de simulação eletromagnética construído no simulador ANSYS HFSS [10].

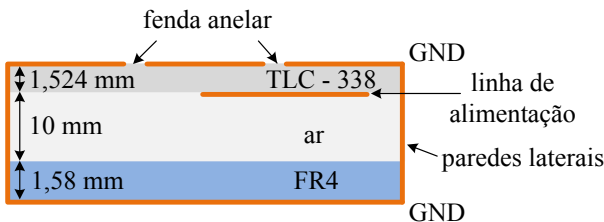


Fig. 1. Corte transversal da estrutura equivalente das antenas projetadas.

A Fig. 2 apresenta a vista superior esquemática da antena com sistema de alimentação em série. A fenda está representada na parte superior do laminado TLC-338 (em rosa) e as striplines na parte inferior (em verde). O casamento de impedância desta antena foi realizado de forma que o tóco 1 teve seu comprimento L_{stub1} otimizado a fim de compensar a reatância da região 1, enquanto que o tóco 2 (d_{stub2} e L_{stub2}) foi projetado para anular a reatância da região 2. A seção de linha de 90° interna à fenda é responsável pela defasagem de 90° entre os modos excitados na antena. O raio R_{slot} foi escolhido de forma que a circunferência da fenda seja igual ao comprimento de onda guiado λ_g quando se considera uma slotline de comprimento infinito e largura W_{slot} . As dimensões da antena otimizada são apresentadas na Tabela I.

A constante dielétrica do TLC-338 foi validada experimentalmente. Enquanto que o valor nominal da constante dielétrica informada pelo fabricante é $\epsilon_r = 3,38$, o valor medido após a construção e medição de um protótipo foi $\epsilon_r = 3,56$. Este valor foi finalmente utilizado para o projeto no simulador ANSYS HFSS. O modelo utilizado para o processo de

otimização é mostrado na Fig. 3. Finalmente, um protótipo foi construído e é apresentado na Fig. 4.

TABELA I. DIMENSÕES DA ANTENA EM FENDA ANELAR COM ALIMENTAÇÃO SÉRIE

Parâmetro	Dimensão (mm)
R_{slot}	24,5
W_{slot}	1,0
L_{stub1}	4,6
L_{stub2}	21,1
D_{stub2}	32,5
W_{cavity}	120,0

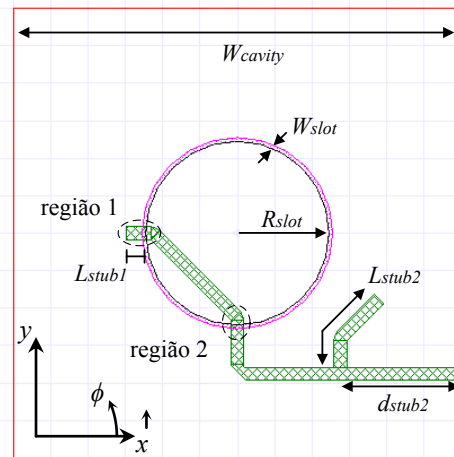


Fig. 2. Esquemático da geometria proposta.

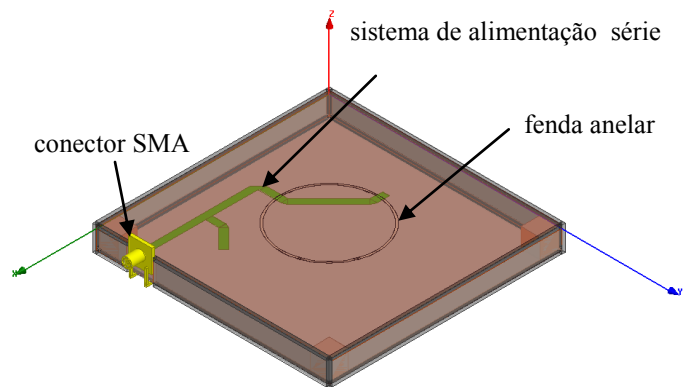


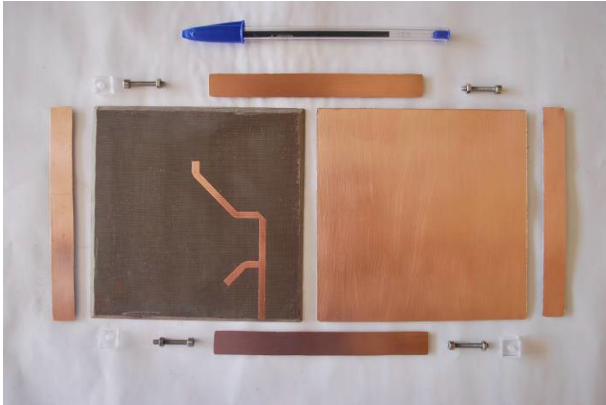
Fig. 3. Vista isométrica da antena com esquema de alimentação em série otimizada no software HFSS.

As características de irradiação da antena são mostradas nas Figs. 5 e 6 para razão axial e diagrama de ganho, respectivamente. O comportamento calculado para AR demonstra que tal geometria apresenta largura de banda muito estreita, cerca de 20 MHz. O diagrama de ganho garante que a antena apresenta polarização circular à direita (do inglês, right-hand circular polarization - RHCP), atingindo um ganho máximo de 6,35 dBi.

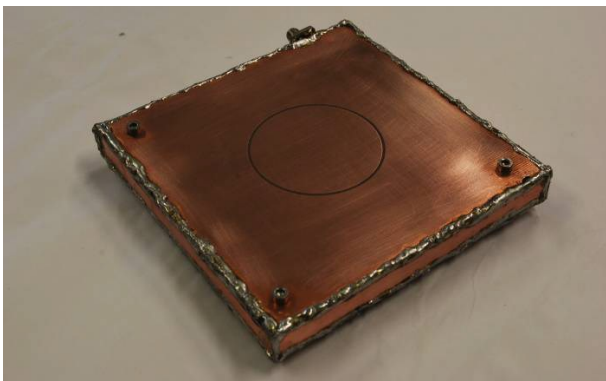
Visando avaliar a robustez da geometria quanto às tolerâncias ao processo de construção, foram realizadas simulações paramétricas no simulador ANSYS HFSS deslocando-se a posição relativa entre a fenda anelar e a stripline de alimentação. Com isto, simula-se uma imprecisão no alinhamento destes elementos que pode ocorrer durante o

processo de corrosão. Foram considerados deslocamentos somente ao longo da direção x , de acordo com o sistema de coordenadas da Fig. 2, e seu efeito sobre a impedância de entrada da antenna está mostrado na Fig. 7. Além das curvas teóricas, o diagrama mostra também a curva medida. Fica evidente que houve um deslocamento horizontal de 1,25 mm no momento da construção do protótipo.

intrínsecas ao processo de construção. Com o objetivo de contornar esta limitação, a seguinte seção aborda uma antenna em fenda anelar integrada a um acoplador híbrido de 90°.



(a)



(b)

Fig. 4. Detalhamento da antenna construída: (a) Vista das partes constituintes da antenna; (b) Protótipo montado.

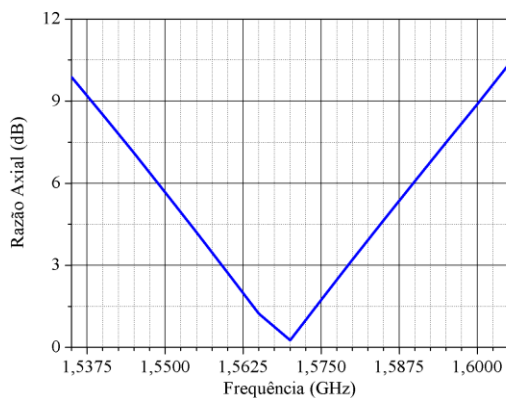


Fig. 5. Razão axial versus frequência.

O coeficiente de reflexão da antenna (S_{11}) foi determinado e é mostrado na Fig. 8. Comparando-se as curvas calculada e medida, pôde-se observar que a antenna apresentou um desvio em frequência de 31,5 MHz.

A partir dos resultados experimentais obtidos, verifica-se que esta geometria é bastante sensível às imprecisões

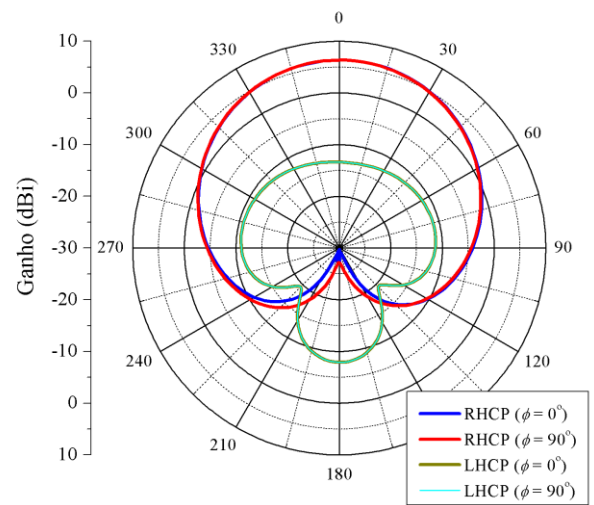


Fig. 6. Diagrama de ganho da antenna para RHCP e LHCP, em 1575 MHz.

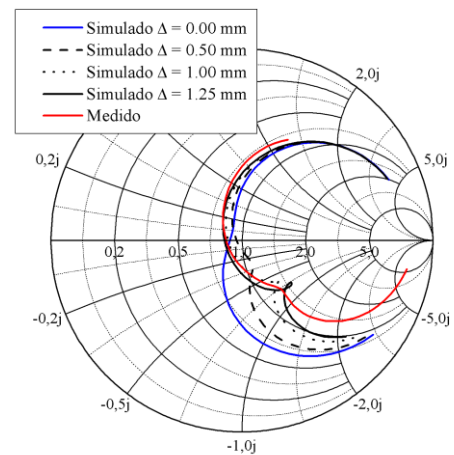


Fig. 7. Impedância de entrada versus deslocamento horizontal.

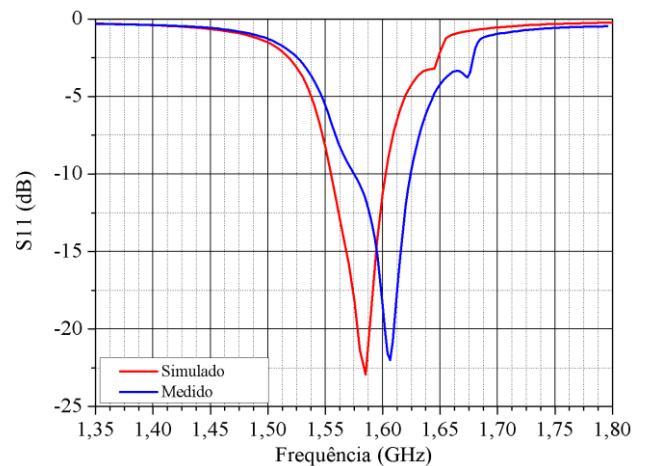


Fig. 8. Coeficiente de reflexão da antenna em fenda anelar com alimentação série.

IV. ANTENA COM ACOPLADOR HÍBRIDO DE 90° INTEGRADO

Para solucionar as limitações da geometria proposta na seção anterior, um acoplador híbrido de 90° foi integrado à geometria da antena. Sua configuração é mostrada da Fig. 9. O acoplador foi projetado com linhas curvas com o objetivo de otimizar o espaço ocupado no laminado de micro-ondas. As dimensões da antena proposta foram otimizadas após diversas simulações paramétricas com o ANSYS Designer [11] e são apresentadas na Tabela II. Para verificação dos resultados, a antena foi modelada também no simulador ANSYS HFSS. Esse modelo é mostrado na Fig. 10.

TABELA II. DIMENSÕES DA ANTENA EM FENDA ANELAR COM O ACOPLADOR HÍBRIDO DE 90°

Parâmetro	Dimensão (mm)
R_{slot}	25,1
W_{slot}	1,0
L_{stub1}	4,6
W_{cavity}	120,0

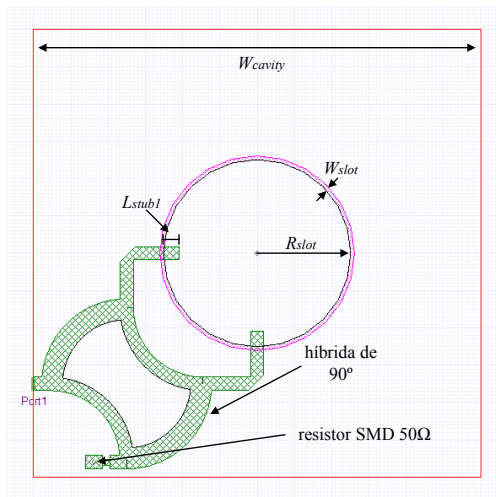


Fig. 9. Esquema da antena integrada ao acoplador híbrido.

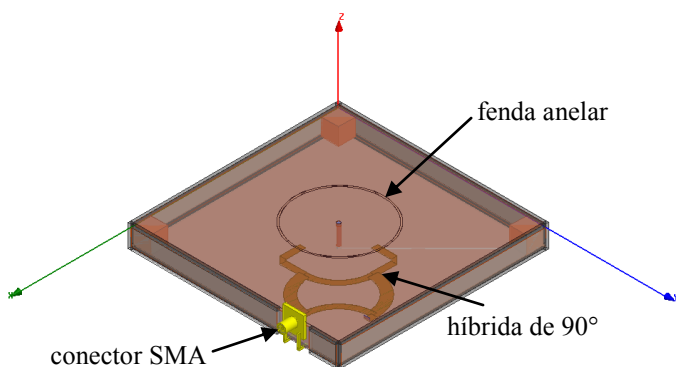


Fig. 10. Vista isométrica da antena com acoplador híbrido integrado otimizada no software HFSS.

O protótipo e seus detalhes construtivos estão mostrados na Fig. 11. Sobre o laminado de micro-ondas localiza-se a fenda anelar e abaixo o acoplador híbrido de 90° com uma das saídas terminadas com um resistor SMD de 50 Ω. As características de irradiação desta antena são mostradas nas Figs. 12 e 13. A razão axial apresentou um comportamento bastante satisfatório,

uma vez que ficou abaixo de 3dB para uma ampla faixa de frequências. O diagrama de ganho da antena comprovou a polarização RHCP e apresentou menor nível de polarização cruzada (LHCP) em relação à antena com alimentação em série (Fig. 6).

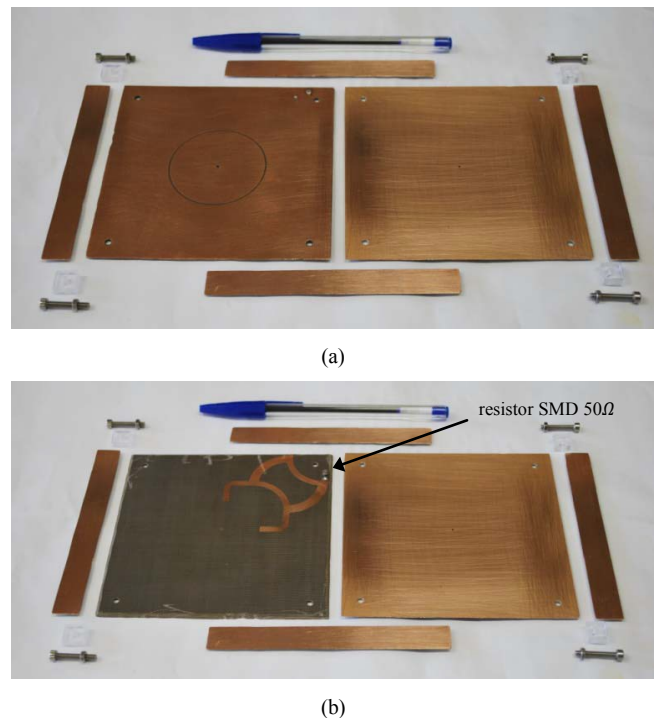


Fig. 11. Detalhamento da antena construída: (a) Vista superior dos elementos da estrutura da antena; (b) Detalhe da híbrida de 90°.

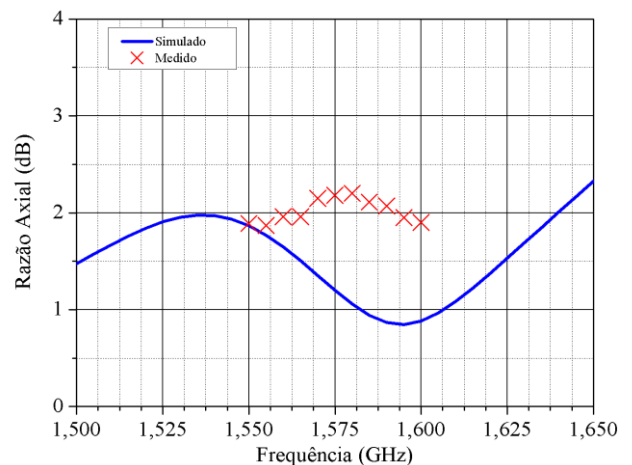


Fig. 12. Razão axial simulada e medida.

Simulações paramétricas adicionais foram realizadas com o intuito de analisar a robustez da antena construída em relação a um possível desalinhamento entre a fenda e o acoplador híbrido de 90° durante a construção do protótipo. Tais resultados são mostrados na Fig. 14, onde fica evidente o desalinhamento de -0,50 mm ao longo da direção x. Apesar dessa imperfeição, o valor da AR medida não ultrapassou 3 dB em toda a banda L1.

O comportamento do coeficiente de reflexão da antena é mostrado na Fig. 15. Pode-se aferir que a antena realmente apresenta ampla faixa de operação. Adicionalmente, foram

realizadas simulações paramétricas para investigar a sensibilidade da antena quanto ao desalinhamento horizontal no processo de construção. Observa-se boa robustez, visto que os valores de S_{11} mantêm-se abaixo de -10 dB na banda L1 para todos os deslocamentos simulados.

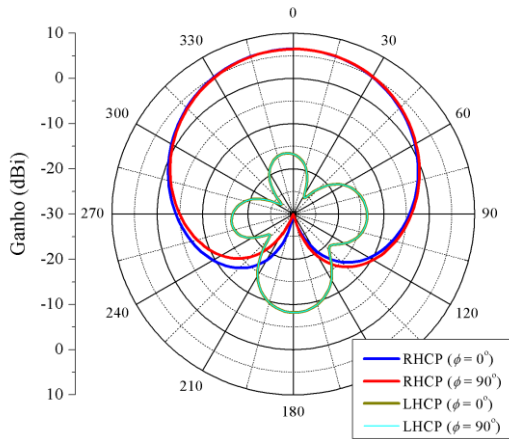


Fig. 13. Diagrama de ganho nos planos principais em 1575 MHz.

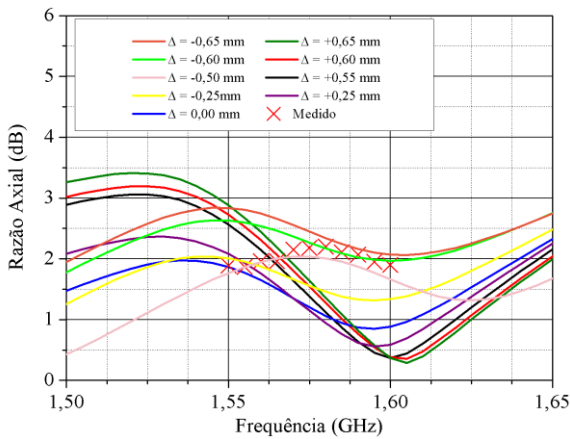


Fig. 14. Comportamento da razão axial com os deslocamentos da fenda em relação ao acoplador.

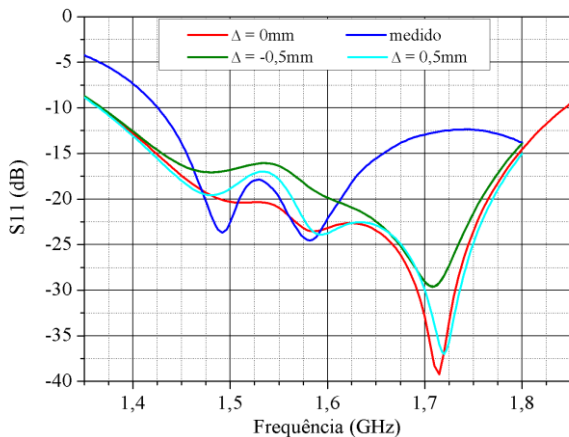


Fig. 15. Coeficiente de reflexão da antena em fenda anelar com acoplador híbrido de 90°.

V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os procedimentos de projeto de duas antenas com geometria em fenda anelar para aplicações GNSS. Foi verificada boa concordância entre as simulações e os resultados experimentais, atendendo às especificações necessárias destes sistemas.

A primeira topologia proposta apresenta a vantagem de ser de simples construção e otimização. Porém, devido à sua estreita largura de banda e alta sensibilidade aos possíveis erros no processo de construção, esta geometria não atendeu aos requisitos necessários para a aplicação proposta. Finalmente, a antena com um acoplador híbrido de 90° integrado foi projetada. Esta estrutura mostrou-se de grande robustez quanto ao procedimento de construção, o que pode ser verificado nas simulações paramétricas realizadas, onde, para vários valores de deslocamento horizontal, a antena atendeu aos requisitos necessários para operar na banda L1 do sistema GPS.

Finalmente, conclui-se que as antenas em fenda anelar são potenciais candidatas para aplicações de alta precisão em sistemas de navegação via satélite, onde a robustez ao processo construtivo é uma vantagem importante. Além das características de irradiação satisfatórias, as fendas anelares apresentam custo reduzido, pois podem ser construídas com apenas um laminado de micro-ondas.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Deschamps and W. Sichak, “Microstrip Microwave Antennas”, *Proc. Of Third Symp. on USAF Antenna Research and Development Program*, October 18-22, 1953.
- [2] L. S. Pereira e M. V. T. Heckler, “Ferramenta Computacional para Projeto e Análise Rápida de Antenas de Microfita Simples”, *XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – XXX SBrT*, Setembro 13-16, Brasília – DF, Brasil, 2012.
- [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory – Analysis and Design*, 2ª Ed. John Wiley & Sons, INC.
- [4] K. F. Lee and W. Chen, *Advances in microstrip and printed antennas*. John Wiley, 1997.
- [5] M. V. T. Heckler e E. R. Schlosser, “Estudo de Antenas em Fenda Anelar para Sistemas de Navegação via Satélite”, *XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, Setembro 13-16, Brasília – DF, Brasil, 2012.
- [6] Z. Wang, S. Fang, S. Fu, S. Lü, “Dual-band probe-fed stacked patch antenna for GNSS applications”, *IEEE Antennas Wirel Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 100-103, 2009.
- [7] L. Boccia, G. Amendola and G. Di Massa, “A dual frequency microstrip patch antenna for high-precision GPS applications”, *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol 3, pp. 157-160, 2004.
- [8] M. V. T. Heckler, M. Cuntz, A. Konovaltsev, L. A. Greda, A. Dreher, M. Meurer, “Development of robust safety-of-life navigation receivers at the German Aerospace Center (DLR)”, *2010 IEEE MTT International Microwave Symposium (IMS 2010)*, Anaheim, CA, Jun. 2010, pp 85-88.
- [9] E. R. Schlosser e M. V. T. Heckler. “Estudo da Influência do Acoplamento Mútuo sobre a Razão Axial em Redes de Antenas com Polarização Circular”. *15º SBMO – Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e o 10º CBMag – Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo – 15º SBMO*, Agosto 05-08, João Pessoa - PB, Brasil, 2012.
- [10] Ansoft HFSS User’s Guide, v.15.0, Ansys Corporation, USA, 2012.
- [11] Ansoft Designer User’s Guide, v.8.0, Ansys Corporation, USA, 2012.