

# Projeto de Monopolo Banda-Larga com Uso de Anéis Parasitas Cilíndricos

Cláudio Augusto Barreto Saunders Filho, Maurício Henrique Costa Dias e José Carlos Araujo dos Santos

**Resumo**—A técnica de incremento significativo de largura de banda de antenas utilizando parasitas é o tema deste artigo. Trabalho recente indicou grande potencial do uso de anéis ao redor de antena monopolo, com incrementos de quase 10 vezes a largura de banda da monopolo isolada. Entretanto, lacunas foram deixadas quanto à montagem da antena e à validação experimental dos resultados. Neste texto, discute-se o uso daquela técnica, com ênfase em aspectos práticos. Em especial, propõe-se o uso de uma base dielétrica para sustentação dos anéis. Um protótipo foi montado e testado, apresentando praticamente o mesmo aumento de largura de banda.

**Palavras-Chave**—Antenas dipolo, antenas de microondas, antenas banda-larga.

**Abstract**—This text addresses the use of parasitic elements to substantially increase an antenna bandwidth. A recent work proposed the use of staircase metallic rings around a monopole antenna, claiming bandwidth increments up to 10 times. However, a few gaps were left regarding practical implementation and experimental validation. The present paper rediscusses that technique, with special care to practical aspects. More specifically, a plastic dielectric base is proposed to hold the rings around the antenna. A prototype has been assembled and tested, with bandwidth increase comparable to the one obtained in that work.

**Keywords**—Dipole antennas, microwave antennas, broadband antennas.

## I. INTRODUÇÃO

No contexto atual de comunicações digitais sem fio a altas taxas de transmissão de dados, uma das técnicas mais promissoras é a que se baseia no uso de pulsos de banda ultralarga (UWB - *Ultra Wide Band*) para transporte da informação. A pesquisa associada a esta técnica foi bastante intensa ao longo da última década, e abrangeu aspectos diversos da Engenharia Elétrica, tais como processamento de sinais, caracterização do canal de propagação e, especialmente, antenas [1].

Boa parte das estruturas típicas conhecidas utilizadas como elementos irradiantes é originalmente faixa-estreita. Entretanto, algumas técnicas disponíveis na literatura especializada pertinente conseguem alterar o comportamento dessas antenas de modo a torná-las banda-larga. Convém destacar que nem sempre é necessário tornar a antena banda-larga em todos os seus aspectos de desempenho, quais sejam, como elemento irradiante ou como elemento de circuito. De fato, no caso das antenas UWB, tão em evidência atualmente, percebe-se uma clara tendência a privilegiar o comportamento como elemento de circuito, impondo, por exemplo, requisitos mais rigorosos de

perda de retorno da antena ao longo da faixa de aplicação desejada [2].

O chaveamento (eletrônico ou mecânico) é uma das formas encontradas na literatura para aumentar a largura de banda de antenas. Atualmente, diversas tecnologias são implementadas no chaveamento, entre elas o uso de componentes ativos como diodos PIN e RF-MEMS (*Radio Frequency - Micro-Electro-Mechanical Switches*). Chaves a diodos PIN foram utilizadas para aumentar a largura de banda de antenas em [3] e [4], por exemplo. Em [4], além de diodos PIN, transistores FET GaAs e RF-MEMS também foram testados com sucesso com o mesmo objetivo.

A forma geométrica como a antena se distribui no espaço é um fator fundamental na determinação do seu comportamento em termos frequenciais. A antena bicônica ideal é um exemplo clássico deste fundamento [2]. Neste sentido, uma outra técnica que viabiliza o aumento da largura de banda de uma antena é a inserção de elementos parasitas ao seu redor. Em [5], por exemplo, um monopolo é modificado para operação banda-larga em VHF e UHF aplicando uma estrutura em forma de coroa no topo da antena. Outros exemplos recentes bem-sucedidos de aplicação desta técnica são encontrados em [6]-[8]. A disponibilidade de ferramentas computacionais de análise de campos eletromagnéticos cada vez mais rápidas e abrangentes é um fator que ajuda a explicar a crescente popularidade desta metodologia.

Este artigo se insere no escopo em questão, descrevendo uma aplicação recente da técnica de inserção de elementos parasitas para aumentar consideravelmente a largura de banda de uma antena originalmente faixa-estreita. Mais especificamente, tomou-se por base a proposta apresentada em [8], em que anéis metálicos são superpostos ao redor de uma antena monopolo sobre plano de terra. Embora o princípio tenha sido comprovado em [8], inclusive com validação experimental, o protótipo de antena montado não foi descrito, gerando importante questionamento de ordem prática, sobre como os anéis parasitas foram sustentados no ar. No presente trabalho, uma técnica simples é proposta e testada com sucesso para dar uma resposta àquela questão, também levando ao esperado incremento significativo de largura de banda.

A organização do presente texto é a seguinte. A seção II discute resumidamente a estratégia de uso de elementos parasitas ao redor de dipolos ou monopolos para aumento expressivo de largura de banda. O projeto de uma antena monopolo com anéis metálicos é apresentado na seção seguinte, com destaque para a solução proposta de sustentação dos parasitas. Na seção IV, a montagem do protótipo da antena projetada é descrita, e os resultados dos testes de validação experimental da mesma são apresentados. A seção V conclui o artigo.

II. MONOPOLOS COM ELEMENTOS PARASITAS

Fisicamente, o fenômeno de incremento substancial da largura de banda de antenas originalmente faixa-estreita está associado ao acoplamento mútuo entre os parasitas e o elemento irradiador principal. Os elementos adicionais modificam o fluxo de corrente no elemento principal. Com a devida parametrização dos elementos envolvidos, é possível buscar uma configuração que atenda a requisitos típicos de antenas banda-larga. Não há, entretanto, uma metodologia direta de projeto para se obter tal desempenho. A partir de configurações de antenas conhecidas, diferentes variações podem ser propostas e testadas com apoio de programas de análise de campos eletromagnéticos tais como CST Studio ou Ansoft HFSS, para citar alguns dos mais utilizados. Esta abordagem tem sido cada vez mais utilizada, levando a resultados satisfatórios, o que pode ser constatado em trabalhos diversos como [6]-[8], por exemplo.

Em [6], elementos parasitas cilíndricos e fitas parasitas foram considerados para aprimorar a impedância de entrada de uma antena monopolo. O estudo consistiu em encontrar expressões analíticas dos campos radiados por uma antena monopolo com uma coroa circular envolvida pelos dois tipos de elementos parasitas citados anteriormente. Aplicou-se a técnica de casamento de modos em conjunto com as condições de casamento de fronteiras para provar a influência de tais elementos no aumento da largura de banda.

A técnica em questão também provê bons resultados com parasitas dielétricos. Em [7], o efeito de um anel ressonador dielétrico na largura de banda de uma monopolo foi analisado, permitindo assim determinar diretrizes aprimoradas para o projeto da antena em qualquer faixa de frequência.

Em [8], analisou-se o efeito de anéis parasitas ao redor de um monopolo sobre plano de terra no que se refere ao incremento potencial de largura de banda. Foram realizados testes com um único anel e com 3 anéis cilíndricos ao redor da antena de referência. A configuração principal avaliada foi a de 3 anéis, reproduzida na Fig. 1 (adaptada de [8]).

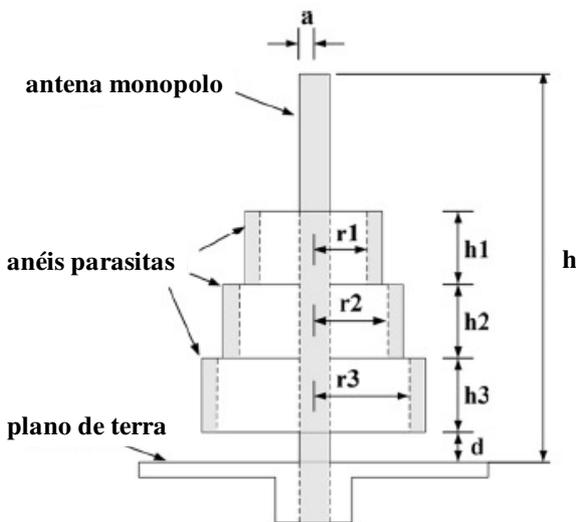


Fig. 1. Geometria da antena monopolo com 3 anéis parasitas proposta em [8].

A antena de referência em [8] era um monopolo com  $h = 12,5$  mm de altura, de ressonância inicial próxima a 6 GHz (para casamento com uma impedância padrão de  $50 \Omega$ ). O esquema de 3 anéis parasitas foi testado com diversos valores de raios ( $r_1, r_2, r_3$ ) e alturas ( $h_1, h_2, h_3$ ) dos anéis parasitas em

dois softwares de simulação de campos eletromagnéticos: CST Studio e Ansoft HFSS. A configuração que levou ao maior incremento de largura de banda, tomando por referência uma perda de retorno  $\geq 10$  dB, tinha os seguintes valores de raios e alturas dos anéis (mm):  $r_1 = 1,5$ ;  $r_2 = 2,1$ ;  $r_3 = 3$ ;  $h_1 = h_2 = h_3 = 2,5$ . A Fig. 2, adaptada de [8], ilustra os coeficientes de reflexão obtidos para essa configuração.

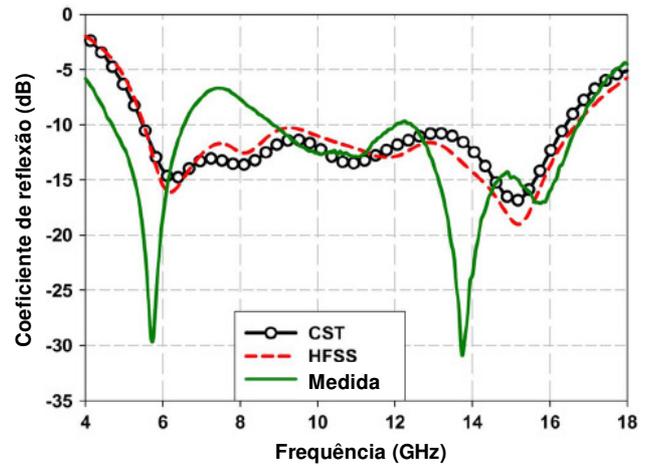


Fig. 2. Coeficientes de reflexão calculados por simulação (CST e HFSS) e medido da antena monopolo com 3 anéis parasitas proposta em [8].

Além dos valores obtidos por simulação, a Fig. 2 apresenta resultados de medidas com um protótipo da antena proposta. Observou-se que os valores simulados levaram a um incremento de largura de banda de até 8,8 vezes com relação ao monopolo de referência. Entretanto, nada foi informado sobre como foi montado o protótipo em [8], em particular sobre a técnica adotada para sustentação dos anéis metálicos no ar ao redor da antena. A diferença significativa entre os resultados simulados e medidos também não foi discutida, apesar do protótipo claramente violar o critério de 10 dB entre 6,5 e 9 GHz. Com isso, apesar do conceito proposto ter sido adequadamente evidenciado em [8], a validação do protótipo apresentada é questionável.

III. PROJETO DE MONOPOLO BANDA-LARGA PARA FAIXA DE 1,4 A 4,1 GHz

A técnica de inserção de elementos parasitas a antenas para incremento substancial da largura de banda explorada em [6]-[8] foi novamente abordada em [9]. Em particular, um dos focos de [9] foi buscar alguma contribuição que pudesse preencher adequadamente as lacunas de ordem prática deixadas em [8]. A solução encontrada foi utilizar uma estrutura em teflon para a sustentação dos anéis parasitas ao redor do monopolo, como ilustrado pela Fig. 3.

Tomando por referência a mesma antena com 3 anéis cujos resultados foram reproduzidos na Fig. 2, foram realizadas simulações no software CST Studio, considerando a presença da base de teflon. A presença desse dielétrico de permissividade relativa pouco maior que a do ar (em torno de 2,2) impôs a necessidade de ajustes finos nos parâmetros geométricos da antena para manter o mesmo incremento de largura de faixa obtido em [8]. Esses ajustes foram realizados por parametrização das dimensões da antena, que eram variadas individualmente a cada simulação, permitindo avaliar a variação da resposta da antena. A configuração que se ajustou melhor à da antena em [8] apresentou as seguintes dimensões para os raios dos anéis (mm):  $r_1 = 1,5$ ;  $r_2 = 2,1$ ;  $r_3 = 2,6$ . As

demais dimensões consideradas foram (mm): espessura = 0,5;  $h1 = h2 = h3 = 2,5$ ;  $d = 0,5$ . A faixa de operação alcançada foi de 5,4 a 16,7 GHz, praticamente a mesma observada na Fig. 2.

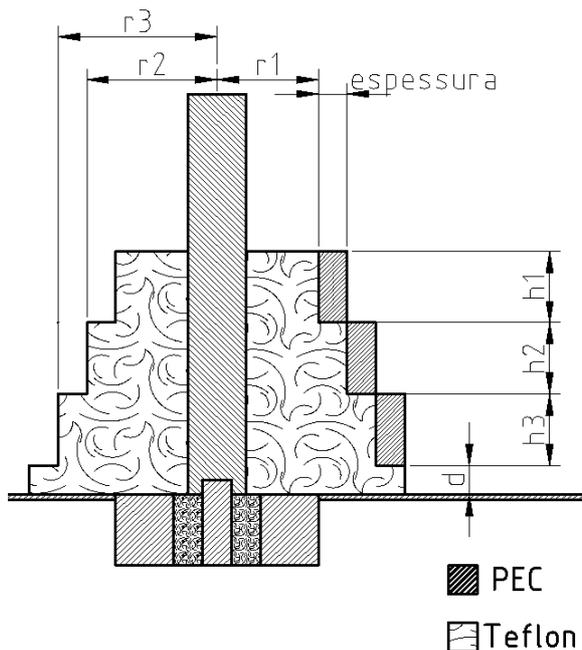


Fig. 3. Corte transversal da antena monopolo com anéis parasitas cilíndricos, sustentados por base de teflon.

Em função do interesse dos autores deste trabalho em faixas de frequências mais baixas e às limitações de ordem prática e técnica para implementação da antena na faixa obtida, optou-se por uma estratégia de escalonamento da antena, buscando uma faixa de operação mais baixa. Testes no próprio CST indicaram ser eficaz a aplicação da técnica de escalonamento, levando a desempenhos equivalentes em termos de largura de faixa obtida. Buscou-se um escalonamento de aproximadamente 1 para 4 das dimensões da antena. Após novas simulações para avaliar a manutenção do incremento de largura de faixa, chegou-se a uma nova configuração para montagem de um protótipo. As dimensões foram as seguintes (mm):  $r1 = 5,4$ ;  $r2 = 8,1$ ;  $r3 = 10,4$ ;  $h1 = h2 = h3 = 9,6$ ;  $d = 1,9$ ; e espessura = 1,9. A Fig. 4 reproduz o desempenho do coeficiente de reflexão dessa antena em termos de largura de faixa. O coeficiente é menor que 10 dB entre cerca de 1,6 e 4,1 GHz. Esta largura de faixa (2,5 GHz) é cerca de 4 vezes menor que a da Fig. 2 (10 GHz), como esperado (valor do fator de escalonamento adotado).

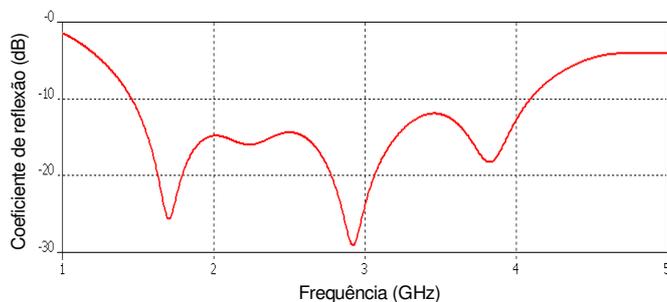


Fig. 4. Coeficiente de reflexão calculado no CST para a antena com 3 anéis e base de teflon, escalonada para faixa de 1,6 a 4,1 GHz.

#### IV. MONTAGEM E TESTES DA ANTENA

Um protótipo da configuração simulada na seção anterior foi montado, para avaliar na prática se o efeito de incremento substancial de largura de banda confirmava as expectativas. Três tipos de matérias-primas foram utilizados: latão e aço inoxidável para as peças condutoras, e teflon para a peça dielétrica. O aço inoxidável, por sua resistência mecânica, foi utilizado no plano de terra, enquanto que o latão, que proporciona uma maleabilidade maior na confecção de peças de pequenas dimensões, foi utilizado nas demais peças metálicas do protótipo.

Uma antena de referência (monopolo isolado sobre plano de terra) foi montada em 4 partes: monopolo; plano de terra; estrutura de conexão; e conector. O monopolo foi confeccionado em latão, com furos para encaixe e solda no conector. Um conector comercial tipo N foi utilizado. O plano de terra foi fabricado a partir de uma chapa de aço inoxidável de dimensões  $400 \times 400 \text{ mm}^2$  e espessura de 1,9 mm que teve suas bordas dobradas e soldadas para aumentar a resistência mecânica e formar uma espécie de “mesa” para proteger o conector. A estrutura de conexão, feita de latão, é fixada abaixo do plano de terra, envolvendo a parte inferior do conector. A Fig. 5 mostra essas 4 partes separadamente.

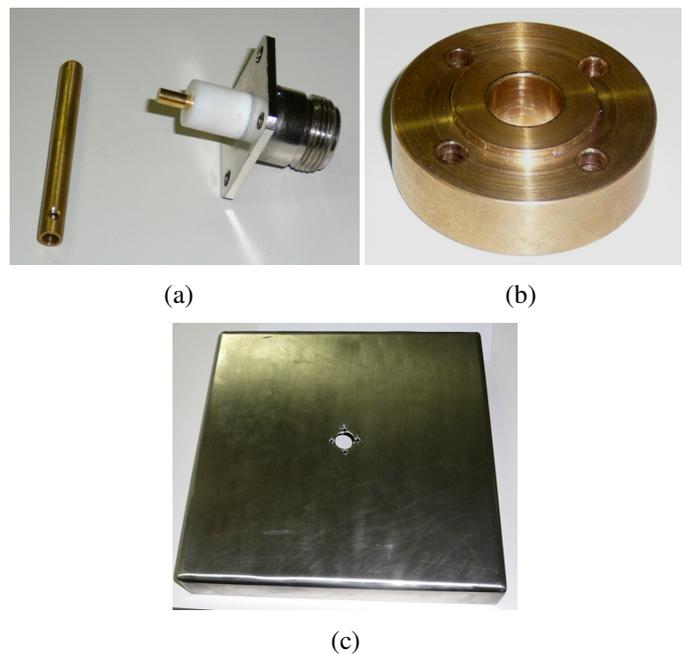


Fig. 5. Peças para montagem do protótipo da antena de referência: (a) monopolo e conector tipo N; (b) estrutura de conexão; (c) plano de terra.

Para compor o protótipo da antena com parasitas, além da antena de referência foi necessário confeccionar os anéis e seu suporte de sustentação. Os 3 anéis foram feitos em latão e o suporte foi usinado a partir de uma peça de teflon. A Fig. 6 ilustra a antena montada com todas as peças.

A caracterização da antena de referência e da antena com parasitas foi realizada na câmara anecóica do Laboratório de Medidas Eletromagnéticas do Centro Tecnológico do Exército (CTEx). Foram realizadas medidas de coeficiente de reflexão e do diagrama de radiação no plano horizontal. Todos os procedimentos de medida seguiram as recomendações contidas em normas do IEEE para testes de antenas [10]-[12].



Fig. 6. Protótipo da antena monopolo com anéis parasitas cilíndricos.

A antena de referência foi a primeira a ser caracterizada. A Fig. 7 apresenta a medida do coeficiente de reflexão, junto com os resultados simulados no CST, a título de comparação. O comportamento faixa-estreita esperado para essa antena convencional foi confirmado, com boa concordância entre os resultados simulados e os experimentais. A largura de banda absoluta na primeira ressonância (em torno de 1,5 GHz) simulada e medida foi de 347 e 345 MHz, respectivamente, tomando por critério de corte uma perda de retorno  $\geq 10$  dB.

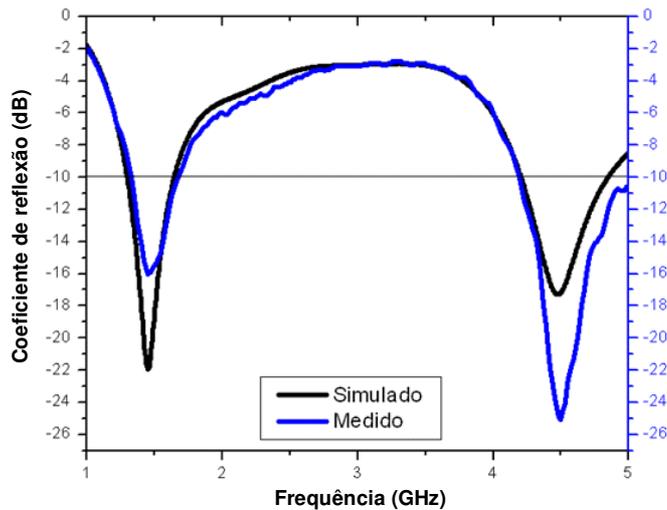


Fig. 7. Coeficiente de reflexão da antena de referência.

Sem retirar a antena de referência da posição da medida anterior, foi inserido o conjunto de anéis junto com o suporte, levando à configuração da Fig. 6. A Fig. 8 apresenta a medida do coeficiente de reflexão da antena com os anéis, junto com os resultados simulados no CST, a título de comparação. Observa-se que a concordância entre resultados experimentais e simulados não foi tão boa quanto a da antena de referência. Entretanto, o incremento substancial da largura de faixa (para perda de retorno  $\geq 10$  dB) foi alcançado, como se desejava. A menor aderência entre as medidas e as simulações no meio da faixa pode ser explicado por imperfeições na montagem do protótipo. Mais especificamente, uma pequena parcela da cabeça dos parafusos de fixação ficou acima do plano de terra (cerca de 1 mm), impedindo que o suporte de teflon encostasse efetivamente no plano.

Para verificar se o comportamento de radiação da antena com anéis parasitas se mantinha com poucas variações ao longo da faixa larga observada em seu coeficiente de reflexão, foram realizadas medidas de seu diagrama de radiação. Por uma limitação do laboratório, apenas medidas no plano horizontal puderam ser tomadas. Como a técnica de medida era faixa-estreita, os diagramas foram obtidos apenas para algumas frequências escolhidas. A Fig. 9 apresenta o diagrama horizontal medido na frequência  $f = 3$  GHz. O comportamento onidirecional esperado para a antena, em função de sua simetria, pode ser observado na curva do diagrama copolar. A curva não foi uma circunferência perfeita em função da difração nas bordas do plano de terra quadrado. Este mesmo comportamento foi observado nos diagramas de outras frequências ao longo da banda de 1,4 a 4,1 GHz.

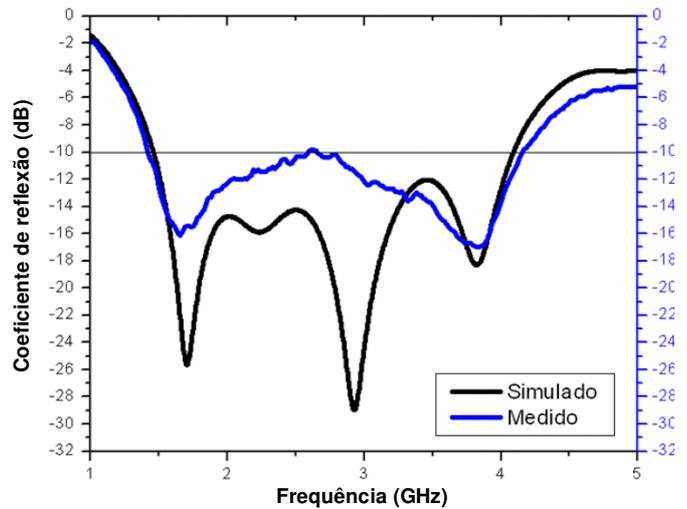


Fig. 8. Coeficiente de reflexão da antena com anéis parasitas.

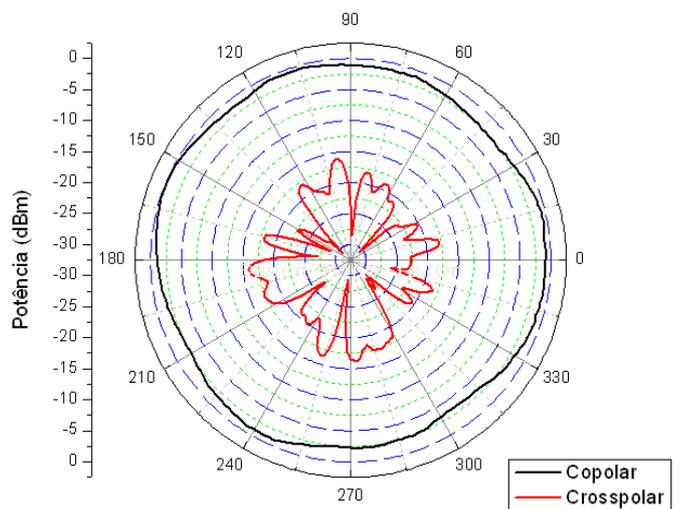


Fig. 9. Diagrama de radiação copolar e de polarização cruzada (*crosspolar*) em  $f = 3$  GHz para o monopolo com anéis parasitas.

## V. CONCLUSÃO

Este artigo abordou a estratégia do uso de elementos parasitas para incremento substancial da largura de banda de antenas do tipo monopolo sobre plano de terra. Foco particular foi dado à técnica proposta em [8], em que os parasitas eram anéis metálicos superpostos simetricamente ao redor da antena.

As simulações apresentadas naquela referência apontaram para um potencial expressivo de aumento da banda (quase dez vezes a largura de faixa da antena monopolo). Entretanto, a validação experimental daquela técnica foi descrita de forma incompleta, sem dados sobre a montagem do protótipo, em especial sobre a questão da sustentação dos parasitas no ar. Mais ainda, não houve análise detalhada dos resultados medidos em [8], apesar da clara divergência com os simulados. Essas lacunas motivaram a realização do presente trabalho, em busca de uma implementação física factível e uma comprovação mais efetiva do potencial daquela técnica.

A solução proposta para o problema da sustentação dos anéis foi o uso de uma base removível de material dielétrico (teflon). A configuração com 3 anéis avaliada em [8] foi adaptada neste trabalho para incluir a base, usando o programa CST Studio como ferramenta de apoio para analisar os devidos ajustes. O mesmo incremento de largura de banda foi obtido para a faixa da antena em questão (cerca de 6 a 16 GHz).

Uma versão escalonada da configuração adaptada obtida (em cerca de 4 vezes) precisou ser considerada, em função do interesse dos autores em outra faixa de frequências e de limitações dos equipamentos de medidas disponíveis. Um protótipo dessa versão foi montado e testado, com medidas do coeficiente de reflexão e do diagrama de radiação no plano horizontal. Os resultados obtidos indicaram que o protótipo alcançou o objetivo de incremento substancial de largura de banda desejado, com uma concordância melhor com as simulações que a apresentada em [8], apesar das imperfeições na montagem. Com isso, conclui-se que a técnica testada é de fato efetiva em seu objetivo de tornar banda-larga uma antena monopolo, inclusive com a inserção da base dielétrica proposta.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Centro Tecnológico do Exército, pelo uso de seu laboratório de medidas eletromagnéticas, em particular ao Maj Samuel Machado Leal da Silva, chefe do laboratório.

#### REFERÊNCIAS

- [1] D. Ghosh, A. De, M. C. Taylor, T. K. Sarkar, M. C. Wicks, E. L. Mokole, "Transmission and Reception by Ultra-Wideband (UWB) Antennas", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 48, n. 5, pp. 67-99, Out 2006.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory – Analysis and Design*, 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [3] D. Peroulis, K. Sarabandi, L. P. B. Katehi, "Design of Reconfigurable Slot Antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, n. 2, pp. 645-654, Fev 2005.
- [4] A. C. Mak, C. R. Rowell, R. D. Murch, C.-L. Mak, "Reconfigurable Multiband Antenna Designs for Wireless Communication Devices", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, n. 7, pp. 1919-1928, Jul 2007.
- [5] D. Yang, Y. Lu, Z. Shen, "A Broad-Band Top-Cap Monopole Antenna", in *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Columbus – Ohio, EUA, vol. 3, pp. 24-27, 22-27 Jun 2003.
- [6] J. W. Lee, K. K. Kang, C.-S. Cho, J. Kim, "An Enhancement of Input Impedance Bandwidth of Circular-Disc Loaded Monopole Antenna with Horizontal and Vertical Parasitic Strips", in *Asia-Pacific Microwave Conference*, Yokohama, Japão, vol. 3, pp. 1960-1963, 12-15 Dez 2006.
- [7] D. Guha, Y. M. M. Antar, A. Ittipiboon, A. Petosa, D. Lee, "Improved Design Guidelines for the Ultra Wideband Monopole-Dielectric Resonator Antenna", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 5, n. 1, pp. 373-376, 2006.
- [8] K. K. Kang, J. W. Lee, C. S. Cho, T. K. Lee, "An Improved Impedance Bandwidth of Modified UWB Antenna With Staircased Parasitic Rings", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 6, pp. 521-524, 2007.
- [9] C. A. B. S. Filho, Projeto de Antenas de Banda Larga: Estudo de Caso de um Monopolo Carregado com Parasitas Cônicos e Cilíndricos, dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ, Fev 2009.
- [10] IEEE Standard Test Procedures for Antennas, ANSI/IEEE Std 149-1979, New York, 1980.
- [11] IEEE Recommended Practice in the Selection of Reference Ambient Conditions for Test Measurements of Electrical Apparatus, ANSI/IEEE Std 3-1982, New York, 1983.
- [12] IEEE Recommended Practice for Preferred Metric Units for Use in Electrical and Electronics Science and Technology, ANSI/IEEE Std 945-1984, New York, 1983.