

# Antena de Microfita com Metasuperfície para Sistemas *Citizens Broadband Radio Service*

Kaio M. da C. Bandeira, Samuel B. Paiva, Vicente A. de Sousa Jr., Cristhianne de F. L. de Vasconcelos, Adaildo G. D'Assunção, Valdemir P. da S. Neto.

**Resumo**—Neste artigo é apresentada uma antena de microfita com metasuperfície para aplicações na faixa de frequência do sistema *Citizens Broadband Radio Service* (CBRS), no qual é necessária uma largura de banda de 150 MHz entre 3,55 e 3,70 GHz. Essa tecnologia surge como peça chave para habilitar serviços de *Neutral Host*, visando o compartilhamento do espectro e da infraestrutura de rede, já que a escassez espectral pode se tornar uma dificuldade para implementação de novas redes de alta capacidade. Optou-se pelo uso da metasuperfície para proporcionar melhorias no ganho e manter boa largura de banda. O trabalho proposto foi inicialmente simulado no software comercial Ansoft HFSS e após a obtenção dos resultados desejados, os protótipos foram implementados e as medições realizadas, obtendo boa concordância entre os resultados experimentais e os resultados obtidos através de simulações.

**Palavras-Chave**—Antena de microfita, Metasuperfície, CBRS, Neutral Host.

**Abstract**— In this paper a microstrip antenna with metasurface is presented for applications in Citizens Broadband Radio Service (CBRS) band which require a bandwidth of 150 MHz located between 3.55 and 3.70 GHz. This technology is key enabler of Neutral Host services, which aims spectrum and infrastructure sharing, since spectral shortage can become a bottleneck for the implementation of new high-capacity networks. The choice to use metasurfaces was made to provide improvement in gain and maintain good bandwidth. We first simulate the antenna in the Ansoft HFSS software and after that desired results was obtained, the prototypes were implemented and the measurements performed, yielding a good agreement between the experimental and simulation results.

**Keywords**—Microstrip antenna, Metasurface, CBRS, Neutral Host.

## I. INTRODUÇÃO

Com a popularidade dos dispositivos móveis, o uso de dados móveis cresce a cada ano em taxas elevadas. Para suportar essa demanda, propostas para o uso eficiente do espectro se tornam ponto chave na corrida pelo padrão mundial que melhor se adapte a essa expansão.

O espectro licenciado é usado por operadores para a entrega de dados e telefonia aos usuários. Contudo, parte do espectro pode ficar ocioso em determinados instantes de tempos e/ou localidades, criando uma oportunidade de compartilhamento de espectro para alocação de serviços móveis quando a operadora não o usa. Nesse sentido, agências reguladoras apostam que a alocação de espectro compartilhado, licenciado e não-licenciado é um requisito necessário para evolução dos

sistemas de comunicação [5].

O crescimento exponencial da demanda de dados móveis somadas as necessidades de espectro das novas tecnologias previstas para o 5G exigem a disponibilidade de novas bandas de espectro licenciado. Além disso, a velocidade de implementação em faixas intermediárias, como é o caso da faixa de 3 a 5 GHz, pode ser mais rápida do que em mmWave (ondas milimétricas), devido a reutilização das redes já existentes. Em tais faixas, a maior taxa de transmissão pode ser alcançada com o uso do MIMO maciço [5]. Para isso, há a expectativa da liberação de novas faixas de espectro, como por exemplo, a faixa de 3,45 a 3,55 GHz e a faixa do CBRS (*Citizens Broadband Radio Service*). A faixa de 3,45 a 3,55 GHz faz parte de um esforço do governo americano para apoiar a implantação de banda larga sem fio e para garantir um espectro suficiente para utilização em serviços avançados para a concretização das redes de quinta geração. Para isso, é necessário que mais espectro seja liberado para uso comercial. Somado a faixa do CBRS, esse espectro de frequência intermediária se tornaria mais atraente para uso comercial e manutenção da liderança americana nas redes 5G [13].

Recentemente, a *Federal Communications Commission* (FCC) propôs criar o CBRS como forma de enfrentar a enorme demanda por capacidade de banda larga sem fio [1]. O relatório do *President's Council of Advisors on Science and Technology* (PCAST) nos Estados Unidos sugeriu liberar 1000 MHz do espectro mantido pelo governo para uso em banda larga móvel [2]. Para este objetivo a FCC, no seu *Report and Order and Second Further Notice of Proposed Rulemaking*, propôs que um total de 150 MHz na banda de 3550 a 3700 MHz fosse disponibilizada para uso comercial. Tal banda é dividida em duas porções: na faixa de 3550 – 3650 MHz (dez canais com um tamanho de 10 MHz cada um) e na faixa de 3650 – 3700 MHz (cinco canais) [1], [3].

Com o objetivo de desenvolver a faixa do CBRS, foi criada a *CBRS Alliance*, formada por membros, tais como: Google, Nokia, AT&T, Ericsson, Qualcomm, Cisco Systems, Motorola, entre outros. Esse grupo tem o intuito de disseminar a tecnologia CBRS baseada em LTE (*Long Term Evolution*), definir casos de uso e fomentar oportunidade de negócios, conduzir desenvolvimentos tecnológicos para o CBRS, prover capacidades multi-operador para o LTE e estabelecer um programa de certificação de produto eficaz para equipamentos LTE na faixa de 3,5 GHz nos EUA, garantindo a interoperabilidade de diferentes fornecedores [6].

Face a essa tecnologia, o objetivo deste trabalho é de simular e construir uma antena, com o uso de metasuperfície,

Os autores Kaio M. da C. Bandeira, Samuel B. Paiva, Vicente A. de Sousa Jr., Cristhianne de F. L. de Vasconcelos e Adaildo G. D'Assunção são do Departamento de Engenharia de Comunicações da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. O autor Valdemir P. de S. Neto é do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Semi-Árido, Caraúbas, RN.

para a utilização nas faixas de frequências intermediárias, que engloba 3,45 a 3,55GHz e a faixa do CBRS, que vai de 3,55 a 3,70 GHz.

A. *Trabalhos Relacionados*

Em [8] foi apresentada uma antena de microfita com *patch* retangular e uma metasuperfície localizada acima do mesmo para atuação em 2,45 GHz. A *metasurface* é composta por anéis quadrados impressos em uma fina placa dielétrica de FR-4. Essa aplicação em conjunto com a antena gerou maior ganho, maior largura de banda e características multibanda.

Já no trabalho apresentado em [9], a metasuperfície foi utilizada para miniaturização do *patch*. Para esse caso, foi utilizada duas camadas do superstrato. Os resultados mostram que houve redução de 67% no tamanho do elemento radiante, mantendo desempenho similar ao da antena sem o uso da *metasurface* em termos de coeficiente de reflexão, eficiência e ganho.

Em [10], foi proposta uma antena de microfita circular utilizando metasuperfície. Ela é composta de células unitárias retangulares, com frequência reconfigurável. Por meio da rotação da estrutura sobre a antena, é possível observar variações em parâmetros como permissividade elétrica, permeabilidade magnética, índice de reflexão, entre outros. Dessa maneira, a frequência de ressonância é alterada, tornando-a uma estrutura reconfigurável.

Em [12], foi proposta uma antena PIFA (*Printed Inverted F-Antenna*) para a utilização em sistemas CBRS para relógios inteligentes. A estrutura total tem dimensões de 5x40x50mm e foi alcançada largura de banda de 127 MHz, que cobre a faixa de 3,45 a 3,58 GHz. Nesse caso, as características alcançadas não estão inteiramente em conformidade com o padrão exigido.

Neste trabalho, conseguiu-se, por meio do uso de metasuperfície, aliar melhoria no ganho, redução do tamanho do *patch* da antena, além de melhorar o casamento de impedância entre a antena e linha de transmissão para o uso da estrutura em sistemas CBRS.

O artigo está organizado como a seguir. A Seção II apresenta o *Neutral Host* e como o CBRS é um importante sistema para implementação desse serviço. A Seção III apresenta e descreve a metasuperfície como elemento importante no alcance das características necessárias para a antena a ser usada no CBRS. A Seção IV traz os resultados obtidos, enquanto que a Seção V apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

II. *CBRS E NEUTRAL HOST*

Atualmente, o conceito de *Neutral Host* tem sido bastante discutido. Inclusive, a Google, que faz parte da *CBRS Alliance*, tem defendido o incentivo à utilização de infraestrutura e espectro compartilhado, além de fomentar novos modelos de negócios. O *Neutral host* é definido como uma empresa que fornece serviços para um número de operadoras que desejam implantar infraestrutura em um determinado local, fornecendo soluções que sejam comercial e tecnicamente acessíveis [6], como ilustrado na Fig. 1.

Há uma crescente demanda por provedores de *Neutral Host* para fornecimento de serviços em nichos de mercado onde as MNO (*Mobile Network Operator*) não estão atuando. De acordo com a *CBRS Alliance*, a cobertura e expansão de

capacidade sem fio em edifícios é uma possibilidade de mercado para empresas com recursos limitados, em que um provedor de *neutral host* pode desenvolver o trabalho técnico e a coordenação com as operadoras para fornecimento de uma rede hiperdensa, criando uma nova e importante categoria de cobertura móvel, financiada pela empresa ou pelo proprietário do imóvel [14]. Inclusive, modelos de redes privadas LTE em empresas podem ser utilizadas em substituição das redes Wi-Fi existentes, pois estas não atendem bem a demanda de serviços moveis de voz em ambientes *indoors*. Para suprir essa necessidade, é necessário investimentos em Sistemas de Antenas Distribuídas (DAS) para fornecimento de multi-operadores. Com o advento da Internet das Coisas (IoT), as redes privadas LTE teriam a possibilidade de que grandes empresas utilizassem suas redes para executar serviços de IoT industriais em dispositivos LTE, e ainda, fornecer ferramentas de comunicações aos dispositivos móveis de seus colaboradores nas sedes das empresas [6].

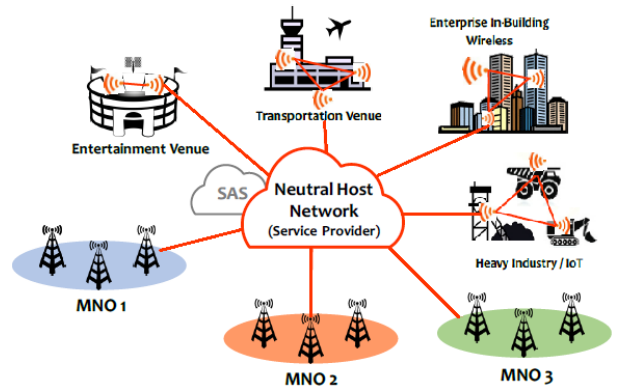


Fig. 1. Fornecedor de rede *Neutral Host* usando CBRS [11].

O sistema completo CBRS possui três camadas de usuários e o *Spectrum Sharing System* (SAS). A camada 1 é destinada para aos usuários incumbentes (operadoras), a qual inclui usuários federais e não federais; a camada 2 é para os usuários que são *Priority Access License* (PAL), em que é reservado no máximo 70 MHz de banda; e os usuários da terceira camada são conhecidos como usuários de *General Authorized Access* (GAA), em que é reservado no mínimo 80 MHz de banda. A função do SAS é alocar canais para estes dois últimos tipos de usuários (camada 2 e 3), enquanto fornece proteção de interferência para usuários incumbentes (camada 1) [6]. A Fig. 2 apresenta a estrutura em camadas do CBRS.

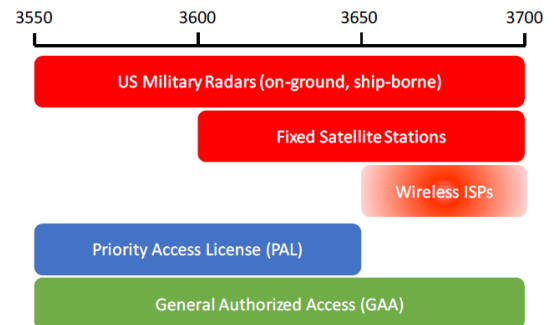


Fig. 2. Estrutura do compartilhamento de espectro em 3 camadas do CBRS [11].

Contudo, o espectro CBRS, com sua atual estrutura de três camadas, não oferece, necessariamente, uma solução muito atrativa de espectro para um sistema candidato ao 5G nos

EUA. Comparados aos requisitos do 5G, o CBRS tem uma quantidade limitada do espectro disponível e baixa potência de saída do transmissor [5]. Em outros países, a faixa intermediária (3-5 GHz) é considerada como faixa prioritária candidata ao 5G e tem pelo menos 300 MHz de espectro destinado a esse serviço. Recentemente, a NTIA (*National Telecommunications and Information Administration*) e outras agências federais identificaram 100 MHz do espectro entre 3,45 e 3,55GHz como sendo de uso potencial da banda larga sem fio. Esse é um passo importante no sentido de disponibilizar espectro da faixa intermediária para os serviços de banda larga nos EUA. Outro fator importante, é a questão da harmonização internacional do espectro, que pode levar à criação de um mercado global de equipamentos que incluísse a faixa de 3450-3550MHz e poderia ajudar a trazer serviços para o mercado mais rapidamente, além de proporcionar economia para fornecedores, operadores e consumidores [13].

Quando considerados em conjunto, os 100 MHz abaixo do CBRS mais a faixa do CBRS, se tornará uma banda intermediária com potencial uso para o 5G.

Assim, prover soluções de antenas com banda larga para essa faixa é importante tanto para o CBRS quanto para os sistemas 5G emergentes.

### III. METASUPERFÍCIE

O foco deste trabalho é o projeto e construção de uma antena de microfita com adição de metasuperfície para uso na faixa intermediária, que engloba o CBRS. A metasuperfície é uma versão bidimensional do metamaterial tradicional, que é em três dimensões. A disposição elétrica de pequenos dispersores ou aberturas arranjadas periodicamente em uma superfície dá-se o nome de metasuperfície (*metasurface*). A metasuperfície pode ser utilizada em substituição dos metamateriais convencionais (3D) para diversas aplicações. Alguma das vantagens dessa substituição é que a *metasurface* ocupa menos espaço físico, tem baixo perfil e é uma estrutura com menos perdas [9].

Essas estruturas tem uma ampla gama de aplicações, tais como: superfícies inteligentes controladas, guias de onda, miniaturização do ressonador, dispositivos terahertz, entre outros.

Para que a metasuperfície opere com as características de metamaterial convencional, a sua espessura deve ser muito menor do que o comprimento de onda da onda eletromagnética incidente e o tamanho da célula unitária deverá ser menor que um quarto do comprimento de onda (condição de homogeneidade efetiva do metamaterial). Neste trabalho, as células unitárias da metasuperfície são formadas por SRRs (*split ring resonator*). Como o intuito do trabalho foi construir uma antena para a faixa intermediária em torno de 3,5 GHz, o comprimento de onda é aproximadamente 85 mm. Logo, para que as SRRs atuem com as características esperadas, suas dimensões devem ser menores que 21,25 mm. Portanto, optou-se por utilizar células unitárias de tamanho 10x10mm, na qual formou uma superfície composta por 15 SRRs, totalizando 30x50 mm de área.

Pesquisas recentes indicam que o uso de *metasurface* aplicada em antenas de microfita podem aumentar a largura de banda de ressonância, melhorar o ganho e miniaturizar o *patch* [5], [6]. Sendo assim, optou-se por utilizar a metasuperfície como estratégia para melhorar as características de ganho, sem

comprometer o baixo perfil da estrutura e a largura de banda desejada.

A Fig. 3 ilustra a metasuperfície disposta de 15 células unitárias utilizadas nesse trabalho, que foi colocada sobre a antena a uma distância  $h_3 = 3,2\text{mm}$ . Foi realizado o processo de otimização (análise paramétrica com diferentes distâncias) para obtenção da distância em que apresentasse melhor resultado de ganho, sem comprometer a largura de banda e faixa de ressonância de interesse.

Inicialmente, utilizou-se  $h_3 = 0\text{ mm}$ , ou seja, a metasuperfície estava imediatamente acima do *patch*. Obteve-se uma largura de banda de 400 MHz (3,3 a 3,7GHz), porém, o ganho máximo total foi -3,44 dB. Para  $h_3 = 1,6\text{mm}$ , foi alcançada largura de banda de 155 MHz (3,4 a 3,55GHz), sobretudo, o ganho foi melhorado e obteve-se 1,83 dB. A terceira situação foi com  $h_3 = 3,2\text{ mm}$ , em que a largura de banda foi de aproximadamente 400 MHz (3,30 a 3,70 GHz), com ganho total de 2,27dB. Outra análise foi feita com  $h_3 = 4,8\text{ mm}$ , em que a largura de banda foi de 280 MHz (3,44 a 3,72GHz) e o ganho de 2,15dB, que é semelhante ao caso anterior. Porém, analisando o VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), que indica o quão casado estão o *patch* e a linha de transmissão da antena, das duas últimas estruturas, verificou-se que o caso com  $h_3 = 3,2\text{mm}$  tem resultado melhor, em que foi alcançado 1,12 em 3,6 GHz e se mantém praticamente linear em toda a faixa de interesse (3,45 à 3,7 GHz). Portanto, justifica-se o espaçamento utilizado.

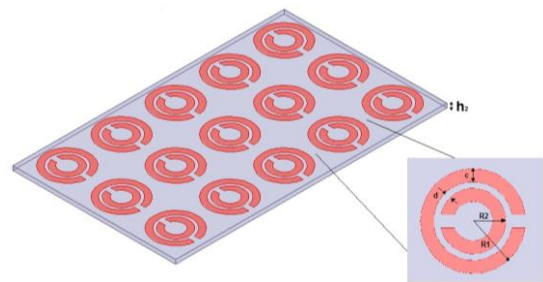


Fig. 3. Metasuperfície com as seguintes dimensões:  $R_1 = 4\text{mm}$ ;  $R_2 = 2,5\text{mm}$ ;  $c = 1\text{mm}$ ;  $d = 0,5\text{mm}$ ;  $h_2 = 1,58\text{mm}$ .

A antena de microfita utilizada tem frequência de ressonância igual a 4,2 GHz com ganho máximo total de -1,44 dB e tem as seguintes dimensões:  $L = 16\text{ mm}$ ;  $W = 12\text{ mm}$ ;  $y_0 = 2\text{ mm}$ ;  $W_0 = 1,1\text{ mm}$ ;  $h_1 = 3,16\text{mm}$ . A Fig. 4 apresenta o *patch* retangular indicando as dimensões, enquanto a Fig. 5 apresenta a estrutura completa: antena de microfita com a metasuperfície.

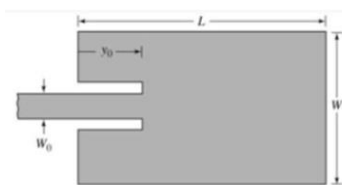


Fig. 4. Patch da antena de microfita [15].

### IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A estrutura proposta foi analisada com o software comercial *Ansoft HFSS*, o qual utiliza o método dos elementos finitos. Após a obtenção dos resultados desejados nas simulações realizadas, os protótipos foram fabricados e medidos.

O material utilizado no substrato da antena e na metasuperfície foi o FR-4, com os seguintes parâmetros: constante dielétrica  $\epsilon_r = 4,4$ ; altura do substrato  $h_1 = 3,16$  mm e tangente de perdas de 0,02.

A medição do protótipo construído foi realizada com um analisador de rede do modelo E5071C – ENA Series da *Agilent Technologies*. Os resultados obtidos da perda de retorno na medição são mostrados e comparados aos da simulação na Fig. 6.

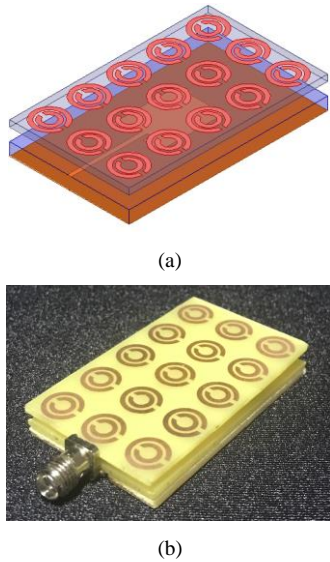


Fig. 5. Estrutura proposta (a) simulada e (b) construída.

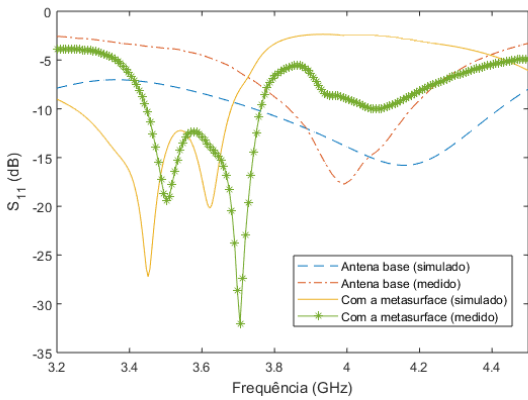


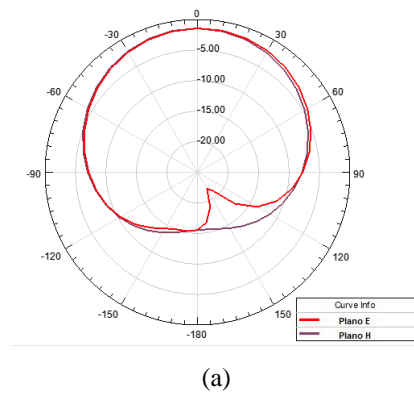
Fig. 6. Resultados obtidos na simulação e medição em laboratório.

Analisando a Fig. 6, verifica-se que a simulação obteve largura de banda de aproximadamente 400 MHz (3,30 a 3,70 GHz), enquanto que o resultado experimental obteve largura de 314 MHz (3,45 a 3,76GHz). O resultado obtido engloba toda a faixa de frequência intermediária de interesse, que vai de 3,45 a 3,70 GHz (que inclui o CBRS). Além disso, foi alcançado melhoria do ganho máximo da estrutura por meio da utilização da *metasurface* sobre o *patch*. Portanto, verifica-se que os resultados simulados e medidos estão em concordância, e validam o estudo realizado. A diferença entre os resultados da simulação e da medição são provenientes de possíveis falhas na construção do protótipo, além de erros inerentes aos equipamentos e ambiente utilizados para

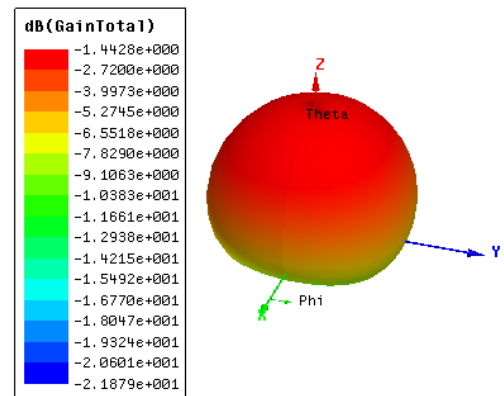
realização das medições. Contudo, apesar da diminuição da largura de banda, o resultado está condizente com o esperado.

Além disso, os gráficos do padrão de radiação e do ganho da antena base e da antena com metasuperfície são apresentados na Fig. 7, enquanto que a distribuição de corrente na metasuperfície é mostrada na Fig. 8.

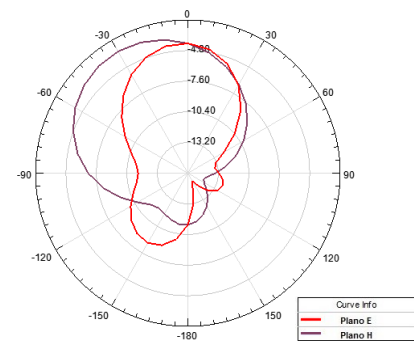
De acordo com o diagrama de radiação apresentado, verifica-se que a estrutura tem características diretivas, com ganho máximo da direção *broadside*. Além disso, a distribuição de corrente foi mais intensa nas SRRs localizadas no centro da metasuperfície, em especial, a que está localizada sobre a linha de alimentação.



(a)



(b)



(c)

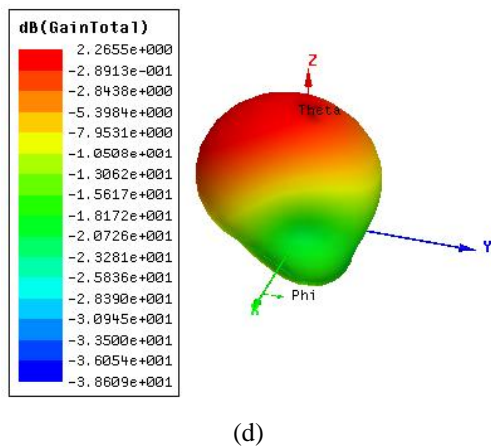


Fig. 7. Diagrama de radiação em (a) 2D e (b) 3D da antenna base e em (c) 2D e (d) 3D da antenna com metasuperfície.

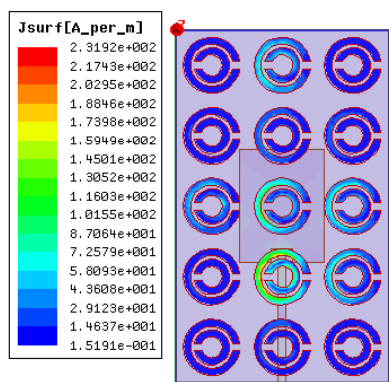


Fig. 8. Distribuição de corrente na metasuperfície.

## V. CONCLUSÕES

O trabalho realizado teve o objetivo de simular, construir e medir uma antenna de microfita com *metasurface* para uso nas aplicações existentes para a faixa intermediária de frequência, que engloba a banda de 3,45 a 3,55GHz e a faixa do CBRS, que é um sistema importante na implantação de redes *neutral host*. Estudos iniciais apontaram que a utilização da *metasurface* seria uma boa estratégia para obtenção de melhorias no ganho e manutenção da largura de banda.

De acordo com os resultados experimentais apresentados, é possível perceber que o objetivo principal do trabalho foi alcançado, pois foi obtido largura de banda suficiente para utilização dos 250 MHz exigidos para a faixa de 3,45 a 3,55 e a faixa do CBRS, enquanto a frequência de ressonância da antenna foi reduzida de 4,20 GHz para 3,60 GHz, o que manteve a estrutura com dimensões reduzidas e baixo perfil.

Para trabalhos futuros, visa-se o alcance de estruturas capazes de operar em múltiplas bandas para utilização de padrões que possibilitem a implementação das redes 5G.

## REFERÊNCIAS

[1] K. B. S. Manosha; S. Joshi; T. Hänninen; M. Jokinen; P. Pirinen; H. Posti; K. Horneman; S. Yrjölä e M. Latva-aho, “A Channel Allocation

Algorithm for Citizens Broadband Radio Service/Spectrum Access System”, *Networks and Communications (EuCNC)*, Novembro 2017.

[2] FCC, “Presidents Council of Advisors on Science and Technology (PCAST) report, Realizing the Full Potential of Government-Held Spectrum to Spur Economic Growth”, 2012.

[3] FCC, “Amendment of the comissions rules with regard to commercial operations in the 3550 – 3650 MHz band, Order on Reconsideration and Second Report and Order”, Doc. No. 12 – 354, Maio 2016.

[4] 5G Americas Whitepaper, “Cellular V2X Communications Towards 5G”, Março 2018.

[5] 5G Americas Whitepaper, “Spectrum Recommendations for the U.S.”, Abril 2018.

[6] CBRS Alliance Whitepaper, “CBRS: New Shared Spectrum Enables Flexible Indoor and Outdoor Mobile Solutions and New Business Models”, Março 2017.

[7] 5G Americas, “Multi-operator and Neutral Host Small Cells: Drivers, Architectures, Planning and Regulation”, Dezembro 2016.

[8] CHUNG, K. L.; CHAIMOOL, S. “Broadside Gain and Bandwidth Enhancement of Microstrip Patch Antenna Using a MNZ-Metasurface”, *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol 54, No. 2, pp. 529-532, 2012.

[9] ZHU, H. L.; CHEUNG, S. W.; YUK, T. I. “Miniaturization of Patch Antenna Using Metasurface”, *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol 57, No. 9, pp 2050-2056, 2015.

[10] ZHU, H. L.; CHEUNG, S. W.; YUK, T. I. “Frequency-Reconfigurable Antenna Using Metasurface”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol 62, No. 1, pp 80-85, 2014.

[11] HOLLOWAY, C. L.; et al. “An Overview of the Theory and Applications of Metasurfaces: The Two-Dimensional Equivalents of Metamaterials”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol 54, No. 2, pp. 10-35, 2012.

[12] THAKUR, A.; SAINI, G. “A Design Concept of Printed Inverted F-Antenna for Smartwatch Applications”, *International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering*, Vol 4, pp. 62-65, Outubro 2017.

[13] NTIA, “NTIA Identifies 3450-3550 MHz for Study as Potential Band for Wireless Broadband Use”, Disponível em <<https://www.ntia.doc.gov/blog/2018/ntia-identifies-3450-3550-mhz-study-potential-band-wireless-broadband-use>>. Acesso em: 16 de abril de 2018.

[14] SDX Central, “Google Wants 5G Spectrum to be Shared”, Disponível em <<https://www.sdxcentral.com/articles/news/google-wants-5g-spectrum-shared/2017/10/>>. Acesso em: 16 de abril de 2018.

[15] C.A. BALANIS, “Antenna Theory: Analysis and Design”, 4th ed., New Jersey: Wiley, 2016