

Dispositivo de Recuperação de Energia Eletromagnética a 2,45 GHz

Alison C. Silva, Isabel T. N. Santos, Bruno L. Nobre, Samuel M. A. Morais e Alexandre J. R. Serres

Resumo— Este artigo apresenta o projeto de um dispositivo de recuperação de energia eletromagnética, que encontra aplicações na alimentação de telefones celulares. Uma antena bioinspirada e um circuito retificador de baixo custo foram fabricados em substrato de FR4. A rectena proposta foi concebida para operar na banda Wi-Fi a 2,45GHz. O resultado medido, da tensão de saída do circuito de recuperação de energia é apresentado, mostrando boa concordância com a simulação.

Palavras-Chave — Dispositivos, Recuperação de energia, Rectena.

Abstract— This paper presents the project of an electromagnetic energy harvester device, which finds its applications in the power supply of mobile phones. A bio-inspired antenna and a low-cost rectifier circuit were fabricated on a FR4 substrate. The proposed rectenna is designed to operate in the Wi-Fi band at 2.45GHz. The measured result of the output voltage of the energy harvester circuit is presented, showing good agreement with the simulation.

Keywords — Devices, Energy Harvesting, Rectenna.

I. INTRODUÇÃO

A cada momento que passa o aumento da comodidade para realizar tarefas básicas é mais perceptível, sendo altamente necessário o desenvolvimento de dispositivos que possam ser acessados remotamente. No ano de 2014, o acesso a *notebooks* foi ultrapassado pela primeira vez pelo uso de celulares. Em abril de 2019 o número de celulares sendo utilizados no Brasil chegou a superar 225 milhões, sendo este um número superior ao número de brasileiros.

Tendo em vista a urgência na aperfeiçoamento de baterias que proporcionem maior duração de carga, torna-se forte e constante o conceito de recuperação (ou colheita) de energia, que é motivado pela reutilização de pequenas parcelas de energia disponíveis no meio e que seriam “inutilizadas”. Com isto, a recuperação de energia nos garante algumas vantagens econômicas – já que essa energia utilizada é encontrada gratuitamente no ambiente – e ambientais, pois o descarte de baterias usadas em controles e *tablets*, por exemplo, seria reduzido drasticamente [1, 2].

II. DISPOSITIVO DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

O dispositivo desenvolvido para a finalidade de recuperação de energia eletromagnética é a rectena. Trata-se de um circuito composto por uma antena, para captar as ondas eletromagnéticas, e um circuito retificador de alta eficiência. Tais dispositivos têm a capacidade de captar energia na forma de sinal de radiofrequência e transformar em tensão contínua, sem que seja necessária a ajuda de outras fontes de energia [3].

Alison Silva, Isabel Santos, Bruno Nobre, Samuel Morais, Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: {alison.silva, isabel.santos, bruno.nobre, samuel.morais}@ee.ufcg.edu.br; Alexandre Serres, Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: alexandreserres@dee.ufcg.edu.br. Este trabalho foi apoiado pela Universidade Federal de Campina Grande e pelo CNPq.

A principal aplicação desses sistemas é a alimentação de dispositivos eletrônicos de baixo consumo, visto que, as potências possíveis de se obter ainda são muito baixas, sendo da ordem de mW na saída das antenas [4].

Para início de projeto, antenas *patch* à 2,45GHz, frequência utilizada neste trabalho, foram projetadas e simuladas com o *software HFSS*. A principal antena simulada utiliza a técnica bioinspirada, neste caso em uma borboleta, como ilustra a Figura 1, em que esta é apresentada 2D e 3D. Na Figura 2 é apresentada a comparação entre o coeficiente de reflexão (S_{11}) simulado e medido da antena, indicando o funcionamento na faixa onde se pretende aplicar a colheita de energia eletromagnética.

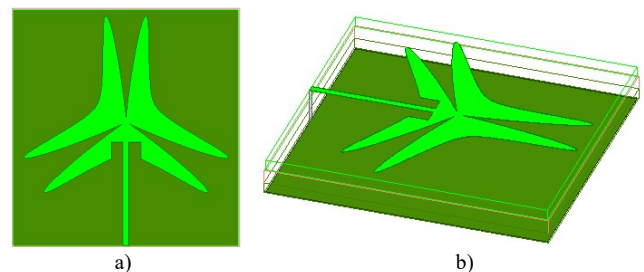


Fig. 1. Antena bioinspirada em borboleta em a) 2D e b) 3D.

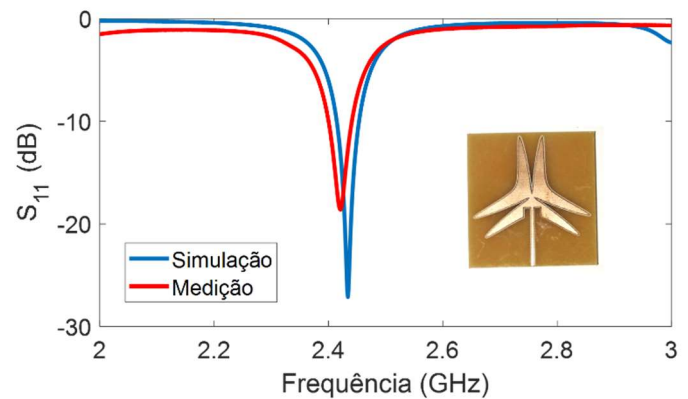


Fig. 2. Simulação do parâmetro S_{11} da antena bioinspirada.

Pode-se observar a proximidade entre o parâmetro S_{11} medido, em que a 2,42GHz foi obtido um coeficiente de aproximadamente -18dB, e o simulado no qual obteve-se aproximadamente -27dB em 2,43GHz. Tal diferença pode ter ocorrido por problemas simples na confecção da antena e acoplamento do conector, além de aproximações indevidas e outros fatores externos.

Para o desenvolvimento do circuito retificador fez-se necessária uma caracterização do diodo, para determinar sua impedância de entrada (Figura 3). A simulação foi feita utilizando-se o *Harmonic Balance* (HB) do *software ADS* que é uma técnica de análise no domínio da frequência para simular circuitos não lineares.

Então uma sonda de corrente (I_{Probe}) e um marcador (V_{in}) no fio de entrada do diodo com a simulação HB permitem imprimir a impedância de entrada por meio da seguinte equação:

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{Probe}} \quad (1)$$

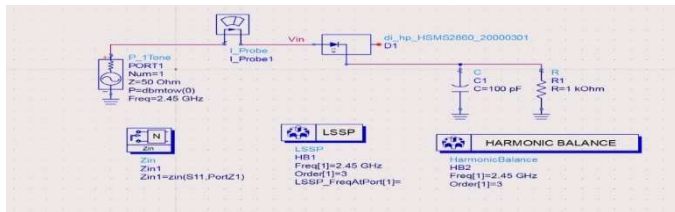


Fig. 3. Simulação da impedância de entrada do diodo.

de onde obteve-se $Z_{in} = 63,1 - 248j \Omega$.

Determinada a impedância de entrada do diodo, foi possível construir o circuito retificador com casamento de impedância (Figura 4). A ferramenta *LineCalc* do ADS foi usada para determinar a largura W da linha para obter-se o casamento de impedância a 50Ω . O comprimento L dos dois stubs foi calculado usando a Carta de Smith. Para se ter uma melhor rejeição a $2,45$ GHz, utilizou-se a ferramenta de otimização do ADS, pois a largura dos stubs entre a fonte e o diodo não mudam, mas o comprimento muda.

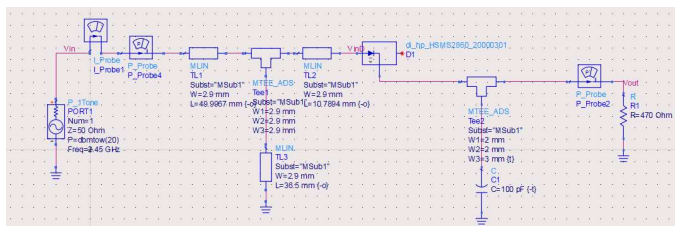


Fig. 4. Circuito retificador com parâmetros otimizados.

Após a construção do projeto da rectena no ADS, as dimensões das linhas foram copiadas em um *layout* no *software* HFSS. Para se fazer a análise do parâmetro S_{11} foi necessário fixar a impedância das duas portas e as características do substrato FR4. A impedância da Porta 1 é a impedância da antena (50Ω) e a impedância da Porta 2 diz respeito a impedância de entrada do diodo, para que assim a rede de correspondência realize sua função. A curva do coeficiente de reflexão é apresentada na Figura 5, de onde obteve-se um valor de $-24,87$ dB para esse parâmetro à frequência de $2,45$ GHz.

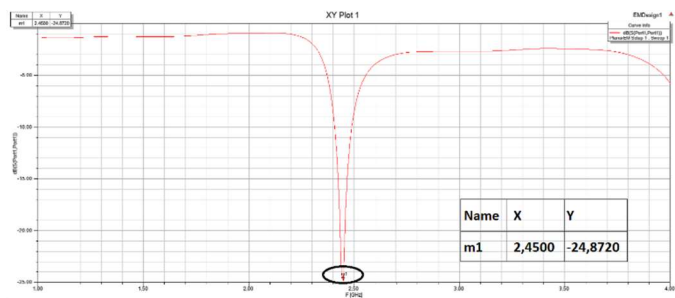


Fig. 5. Resultado da simulação do circuito no HFSS.

Com todas as dimensões calculadas e o circuito simulado, foi feito o *layout* no ADS. Tendo finalizado o *layout*, foi feita uma cossimulação para verificar os resultados eletromagnéticos e os resultados do esquemático em uma mesma simulação, sendo esta mostrada na Figura 6.

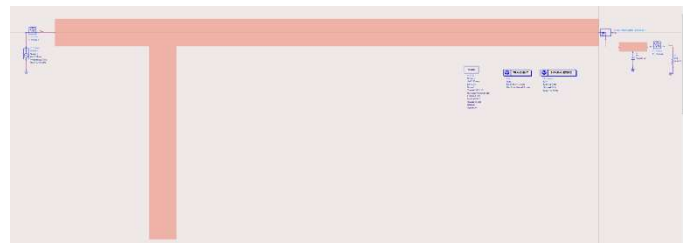


Fig. 6. Cossimulação do circuito retificador.

O resultado da cossimulação foi obtido a uma frequência de ressonância a $2,39$ GHz e não a $2,45$ GHz, como desejado. Algumas alterações nas dimensões das linhas foram realizadas e, com um resultado favorável, o circuito pôde ser fabricado para ser feita a validação.

Primeiramente foi medido o S_{11} com um analisador de espectro da *Agilent Technologies*® e o resultado apresentou uma boa rejeição, de -15 dB, a $2,739$ GHz (Figura 7), um pouco diferente da desejada. Logo após, a saída foi medida com um voltímetro e utilizando a carga de $1k\Omega$ a partir de um potenciômetro. Para uma entrada de 0 dBm e $2,739$ GHz a tensão obtida foi de $0,287$ V.

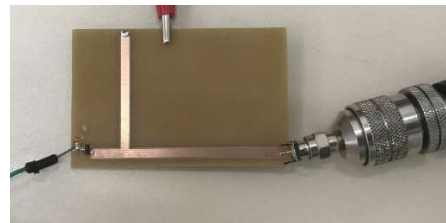


Fig. 7. Medição do S_{11} do circuito confeccionado.

III. CONCLUSÕES

Este estudo conseguiu dar grandes passos no que diz respeito à criação de um dispositivo para recuperação de energia que possa servir para carregar um dispositivo móvel sem a necessidade de outros dispositivos acoplados.

Tendo alcançado, a 0 dBm de entrada, uma tensão de $0,287$ V na saída do circuito, pode-se perceber que, a partir de mais técnica e precisão, excelentes resultados podem ser obtidos, podendo chegar próximo ao carregamento de baterias de 5 V que são as fornecidas por cabos USB, bastante utilizados para carga de celulares.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal de Campina Grande, ao CNPq, ao Departamento de Engenharia Elétrica e ao Laboratório de Radiometria por todo apoio e financiamento. Este trabalho foi realizado sob o Edital PROPEX 11/2018 PIBITI/CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] Aminov, P.; Agrawal, J. P. RF Energy Harvesting. *Components and Technology Conference (ECTC)*. Orlando, p. 1838-1841, 2014.
- [2] Pradhan, S.; Ro, S.; Noh, L. S.; Choi, D. Comparative Study of Rectenna for Electromagnetic Energy Harvesting. *International Journal of Control and Automation*, v. 7, n. 3, p. 101-112, 2014.
- [3] Masud, Prince. A methodology for designing 2.45 GHz wireless rectenna system utilizing Dickson Charge Pump with Optimized Power Efficiency. p. 20 – 26, 2013.
- [4] Song, C.; Huang, Y.; Zhou, J.; Zhang, J.; Yuan, S.; Carter, P. A High-Efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, v.63, n.8, p. 3486-3495, 2015.