

“Antena” de Fibra Óptica Plástica como Detectora em Enlaces LiFi

Juliana O. de Paula, Maristela Ciara, Ricardo M. Ribeiro, Vinicius N. H. Silva e Cláudia B. Marcondes

Resumo—Este artigo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo que funciona como um detector de luz na faixa visível - “antena óptica”. A idéia central é utilizar um pequeno segmento de fibra óptica plástica de PMMA ou de poliestireno fluorescente para recepção em enlaces LiFi (*Light Fidelity*).

Palavras-Chave—comunicações por luz visível; fibra óptica plástica; espalhamento; fluorescência.

Abstract—This paper presents the development of a device that works as a light detector in the visible spectrum, like an “optical antenna”. The idea is to use a small strand of plastic optical fiber made from PMMA or fluorescent polystyrene in a LiFi-link (*Light Fidelity*) receiver.

Keywords—visible light communications; plastic optical fiber; scattering; fluorescence.

I. INTRODUÇÃO

Uma multiplicidade de dispositivos, sensores e equipamentos vem sendo conectados em rede, ou Internet das Coisas (IoT) [1], o que causará um aumento na demanda por banda. Dessa forma, com a densificação, a alta demanda resultante deverá causar saturação no espectro de rádio, além de problemas de interferência. Bandas requeridas na faixa de Gb/s para cada dispositivo, deverão demandar a tecnologia VLC (*Visible Light Communications*) ou LiFi (*Light Fidelity*) [2], que tem sido bastante explorada nos últimos anos com o intuito de complementar o WiFi (*Wireless Fidelity*) [3].

O LiFi é um sistema de comunicação que utiliza a luz visível como portadora. Devido aos requisitos de segurança ocular, esses sistemas utilizam quase que obrigatoriamente LEDs ao invés de LDs (*Laser Diodes*) como fontes ópticas. É um sistema que não requer licenciamento de espectro e sofre pouca influência de efeitos atmosféricos, como a turbulência nos sistemas FSO [4]. Porém, o LiFi é afetado pela mobilidade dos transceptores [5], sendo extremamente importante o aumento do campo-de-visão afim de atenuar erros de apontamento, o que causa aumento da taxa de erro de bit e até interrupção da comunicação.

Este trabalho supõe como cenário de aplicação real, um enlace LiFi entre um transmissor óptico fixo a LED e um detector óptico móvel posicionado em até cerca de 1m de distância. O detector, consiste de um pequeno segmento (poucos centímetros) de fibra óptica plástica (POF) de PMMA ou fluorescente (FPOF), funcionando como uma espécie de “antena óptica” conectada a um fotodiodo para aumentar o campo-de-visão do mesmo. Desta forma, são descritos resultados experimentais comparativos de captura óptica em dBm do presente detector-LiFi.

Juliana O. de Paula, Maristela Ciara e Ricardo M. Ribeiro, Departamento de Engenharia de Telecomunicações Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil, juliana_oliveira@id.uff.br; maristelaciara@id.uff.br e rribeiro@id.uff.br. Vinicius N. H. Silva, Instituto de Telecomunicações, Coimbra, Portugal, vinicius.silva@ci.it.pt e Cláudia B. Marcondes, Coordenação de Telecomunicações, CEFET - RJ - Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, claudia.marcondes@cefet-rj.br.

II. O DETECTOR LiFi: CAPTURA DE LUZ

A Figura 1 mostra esquematicamente uma montagem experimental simples, destinada a medir o poder de captura de luz de alguns tipos de “antenas ópticas” plásticas a 90° da direção do feixe luminoso. Está destacado por um retângulo pontilhado, o desenho esquemático do *detector-LiFi*, que consiste essencialmente de uma POF com 1 mm de diâmetro envolta por um tubo capilar de vidro de diâmetro interno 1,10 mm e comprimento 75 mm para uma melhor sustentação da fibra. Destacado em amarelo, temos a emenda entre a “POF-antena” e um pequeno segmento de POF-PMMA feita com SuperBonder em gel, proporcionando uma perda por inserção de ~0,4 dB [6]. O segmento de POF-PMMA é acoplado a um fotodiodo que faz parte de um medidor de potência óptica (MPO) com -50 dBm de sensibilidade.

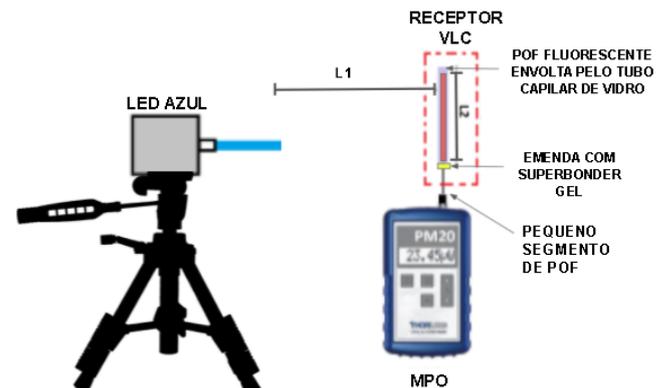


Fig. 1. Diagrama esquemático da montagem experimental. O retângulo pontilhado destaca o *detector-LiFi*.

As medidas foram divididas em 2 ciclos. O 1º ciclo, a nível comparativo, serviu para avaliar qual tipo de POF mostra maior poder de captura de luz onde as “antenas” eram simplesmente inseridas no conector de entrada do MPO, sem o invólucro de vidro. O 2º ciclo como mostra a Fig. 1, foi o de caracterização da POF de melhor resultado no 1º ciclo, incluindo aprimoramentos nas emendas. Quatro tipos distintos de “antenas ópticas” foram caracterizadas no 1º ciclo: 1ª) POF *in natura*, 2ª) POF com ranhuras feitas “a quente”, 3ª) POF com ranhuras feitas “a frio” e 4ª) FPOF (poliestireno fluorescente vermelho) modelo IF-810087 da Industrial Fiber Optics (USA). Em todos os quatro casos, a cobertura (opaca) protetora de polietileno foi cuidadosamente retirada. A idéia foi a de conseguir guiar pela POF no sentido do fotodiodo, uma máxima fração de potência óptica incidente externamente, esta última gerada por um LED azul posicionado *perpendicularmente* à fibra (Fig.1). O comprimento físico das “antenas ópticas” foi de $L_2 = 5$ cm nos 2 ciclos. Uma mesma lâmina metálica, tanto na temperatura ambiente quanto aquecida na mesma temperatura de um ferro de soldar comum (~180 °C), foi utilizada para imprimir ranhuras nas “antenas ópticas” a “frio” e a “quente”, respectivamente. As ranhuras foram feitas tangencialmente e de forma superficial com periodicidade de ~1 mm ao longo de L_2 . A “frio”, estima-se

ranhuras gravadas com profundidade de 0,1 mm enquanto que a “quente”, $\sim 0,2$ mm. A idéia das ranhuras, foi a de aumentar o poder espalhador da POF através do mecanismo de espalhamento Mie, aumentando o poder de acoplamento luminoso [7]. Todas as medidas foram realizadas em ambiente escuro com o MPO devidamente ajustado para mostrar medidas calibradas em 460 nm (POF-PMMA) ou 635 nm (FPOF-vermelha). A razão da emenda da “POF-antena” com a POF-PMMA, foi a de expor todo o comprimento L_2 ao campo luminoso externo minimizando a re-absorção da fluorescência na FPOF [8], se for o caso.

O LED azul (~ 460 nm) com potência óptica de saída nominalmente em 4 mW@ 20 mA foi escolhido para a excitação da “antena óptica” pelos seguintes motivos: 1º) O espalhamento Rayleigh é mais intenso quanto menor for o comprimento de onda e 2º) No caso da FPOF, obtém-se maior potência fluorescente via excitação com luz azul [8], o que pode-se também obter com LEDs brancos, amplamente utilizados no LiFi. Uma desvantagem no 1º caso, é a menor responsividade no azul exibida pelos fotodiodos de silício quando se compara com maiores comprimentos de onda. Conforme a Fig.1, a distância entre o transmissor e o receptor-VLC foi fixada em $L_1 = 10$ cm. As Tabelas 1 e 2 mostram comparativamente os níveis de potência luminosa (dBm) produzidos pelas “antenas ópticas”, conforme as leituras no MPO nos ciclos 1 e 2, respectivamente.

Da Tabela 1, nota-se a baixa eficiência de captura da POF *in natura* que ficou no nível *low signal*. Como o MPO possui sensibilidade de -50 dBm, é estimado um aumento na eficiência de captura de pelo menos $-36,9 - (-50) = +13,1$ dB gerada pelas antenas com ranhuras. Pode-se também notar que não fez diferença significativa realizar ranhuras “a frio” ou “a quente”. Entretanto, a FPOF-vermelha apresentou um poder de captura ~ 6 dB maior quando se compara com qualquer das POFs-PMMA com ranhuras. Com a FPOF-vermelha, deve-se notar que ocorre uma conversão de comprimento de onda de 460 nm para 635 nm. Um fotodiodo de Si possui maior responsividade em 635 nm quando se compara com 460 nm, o que contribui para a referida melhora.

TABELA 1. Resultados comparativos do nível de sinal óptico Pout gerado pelas “antenas ópticas” a 10 cm de distância do LED azul emissor no ciclo 1.

“Antena” óptica	Pout (dBm)	λ (nm)
PMMA <i>in natura</i>	<i>Low signal</i>	460
PMMA c/ ranhuras a quente	- 36,9	460
PMMA c/ ranhuras a frio	- 36,9	460
FPOF-vermelha	- 31,0	635

Melhorias como mostra o retângulo pontilhado da Figura 1, foram realizadas na estrutura da antena. Então foi realizado o ciclo 2 de medições. A Tabela 2 indica os resultados dessas medições, porém obtidas somente com a FPOF-vermelha *in natura* ou com ranhuras.

TABELA 2. Resultados comparativos do nível de sinal óptico Pout gerado pelas “antenas ópticas” FPOF-vermelhas a 10 cm de distância do LED azul emissor no ciclo 2.

“Antena óptica”: FPOF-vermelha	Pout (dBm)	λ (nm)
<i>in natura</i>	-15,8	635
c/ ranhuras a quente	- 14,9	635
c/ ranhuras a frio	- 14,6	635

III. CONCLUSÕES

Pode-se concluir preliminarmente sobre a possibilidade de usar uma POF-PMMA comum com ranhuras superficiais como forma de aumentar o seu poder de espalhamento óptico e então a sua eficiência de captura luminosa. Porém, a FPOF-vermelha foi a que exibiu o melhor resultado. Além disto, pode-se observar que POFs fluorescentes riscadas superficialmente exibiram uma eficiência melhorada de 1,2 dB com relação a mesma fibra *in natura*. Técnicas para aumentar a captura de luz via espalhamento e/ou fluorescência devem ser mais a fundo investigadas. Porém neste trabalho, do *low signal* onde < -50 dBm até $-14,6$ dBm com a FPOF-vermelha riscada a frio, obteve-se uma melhora na captura de luz de pelo menos $-14,6$ dBm $- (-50$ dBm) = $+35,4$ dB em condições experimentais bastante similares.

Embora não tenha sido aqui mostrado, a “antena óptica” receptora com FPOF, respondeu temporalmente à incidência de um tom senoidal modulando o LED-transmissor em pelo menos até 10 MHz.

AGRADECIMENTOS

Autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Finance Code 001), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS

- [1] Demirkol, I., Camps-Mur, D., Paradells, J., Combalia, M., Popoola, W., & Haas, H. (2019). Powering the internet of things through light communication. *IEEE Communications Magazine*, 57(6), 107-113.
- [2] Burchardt, H., Serafimovski, N., Tsonev, D., Videv, S., & Haas, H. (2014). VLC: Beyond point-to-point communication. *IEEE Communications Magazine*, 52(7), 98-105.
- [3] A. Sarkar, S. Agarwal and A. Nath, “LiFi Technology: Data Transmission through Visible Light,” *Int. J. of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, vol. 3, issue 6, pp. 1-12, June 2015.
- [4] De Oliveira G, Silva VN, Barbero AP, Ribeiro RM, Coelho TV, Dos Santos AB. Measurements of indoor/outdoor atmospheric turbulence through optical triangulation method. *Measurement Science and Technology*. 2017 Apr 6;28(5):055207.
- [5] A. C. Boucouvalas, P. Chatzimisios, Z. Ghassemlooy, M. Uysal and K. Yiannopoulos, “Standards for Indoor Optical Wireless Communications,” *IEEE Communications Magazine – Communications Standards Supplement*, pp. 24-31, March 2015.
- [6] Michele C. Zanon, Vinicius N. H. Silva, Andrés P. L. Barbero and Ricardo M. Ribeiro, Practical splicing of poly-methyl-methacrylate plastic optical fibers, *Applied Optics*, 57,4, 812-816, February 2018.
- [7] M. Poppendieck and D. Brown, “Control of Light Output from Plastic Optical Fiber with Optical Elements,” pp. 580-584, 1996.
- [8] Ribeiro, R. M., Silva, V. N. H., Barbero, A. P. L., Alves, C. M., & Rodrigues, C. R. L. (2015). Fast wavelength conversion to generate 560 nm fluorescence for data transmission in polymer optical fibers. *Electronics Letters*, 51(2), 168-170.