

PROTÓTIPO EDUCACIONAL PARA ENSINO VLC/LiFi

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4275

Amanda Ruhlemann Barreira - aruhlemann@id.uff.br
Universidade Federal Fluminense

Hypolito José Kalinowski - hjkalinowski@id.uff.br
Universidade Federal Fluminense

Resumo: *Com o crescente interesse nos estudos em técnicas de comunicação via luz visível (VLC), em particular o Light Fidelity (LiFi) além de, no contexto geral, a defasada cobertura laboratorial no âmbito nacional, torna-se relevante o desenvolvimento de mecanismos alternativos que possam dar suporte aos experimentos relacionados ao tema em ambientes acadêmicos. Naquelas condições, este trabalho tem por objetivo, com auxílio das ferramentas Arduino e Matlab, ferramentas essas amplamente conhecidas, de fácil aquisição e com suporte via fóruns na web, a confecção de um sistema protótipo simplificado que permita a comunicação via luz visível e que auxilie o ensino em Engenharia de Telecomunicações. A partir de seu uso, alguns parâmetros vistos de maneira teórica em sala de aula poderão ser compreendidos de maneira prática, bem como sua utilização para medição em cenários críticos de comunicação, seja na presença de obstáculos ou sob fontes de iluminação externa, além de viabilizar o estudo do perfil de intensidade luminosa em campo distante.*

Palavras-chave: *Educação em Engenharia, Comunicação por Luz Visível, Light Fidelity (LiFi)*

PROTÓTIPO EDUCACIONAL PARA ENSINO VLC/LiFi

1 INTRODUÇÃO

A implantação comercial de enlaces de comunicação por fibra ótica a partir de 1980 trouxe atenção ao ensino das tecnologias associadas, principalmente nos cursos da área de telecomunicações. Experimentos voltados inicialmente às características do guiamento dielétrico na região ótica e daquelas relacionadas aos transdutores e equipamentos tornaram-se necessários e deram origem à produção internacional de instrumentos didáticos específicos. No Brasil, algumas iniciativas tiveram apoio, na segunda metade dos anos 1980, por meio de projetos financiados pelo Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico na área de Educação para Ciências PADCT/CNPq). Foram, por exemplo, desenvolvidos instrumental básico desde experimentos de ótica no ensino médio (KALINOWSKI, 1990; GARCIA, 1994) até a caracterização de enlaces laboratoriais de comunicação ótica no ensino superior (VIZCAYA-GUARIN, 1991; LUNA, 1993), incluindo diferentes tipos de receptores e medição da taxa de erro de bit (BER). Já na metade final dos anos 1990's foram disponibilizados recursos dos órgãos de fomento através do programa REENGE (Reengenharia do Ensino das Engenharias) para expansão instrumental de laboratórios na área de comunicações óticas (KALINOWSKI, 1991) e para disseminação de novas tecnologias no público externo à universidade (KALINOWSKI, 1996).

Outra iniciativa para incentivar estudos em comunicações óticas foi a elaboração pela SBMO – Sociedade Brasileira de Micro-ondas e Optoeletrônica – em 1994-1995 do Projeto Faraday, proposta piloto para realçar o ensino nas faixas de micro-ondas e ótica mediante implantação de laboratórios em um grupo de universidades com cursos de telecomunicações. Essa proposta foi negociada com o CNPq, que financiou a elaboração e a especificação dos instrumentos, mas teve sua implantação comprometida pelas dificuldades econômicas do setor de C&T na segunda metade daquela década.

Já na segunda década deste século, uma nova proposta metodológica para o ensino de comunicações óticas foi conduzida por Abdalla (ABDALLA Jr., 2012) – uma fração dos autores esteve envolvida na proposição do projeto Faraday – contendo atividades experimentais em dois níveis, experimentos didáticos e projeto final, que receberam boa avaliação dos estudantes delas participando.

No mesmo intervalo temporal foram acrescentadas nos currículos de graduação as técnicas de LiFi (*Light Fidelity*) com o consequente aumento na literatura própria de algumas instituições como, p.ex., (CARVALHO, 2015). Essa inserção aprofundou a diferença entre os conceitos teóricos (ou passíveis de simulações computacionais) com a base experimental disponível. A mesma dificuldade foi também percebida em grupos internacionais, evidenciando a dificuldade entre os fundamentos da disciplina e sua realização prática em laboratórios (HECHUAN, 2016). Outros autores, dentro do mesmo contexto, reportaram resultados na aplicação de novas metodologias para o ensino de comunicações FSO (*Free Space Optics*) (AZIZ, 2019), embora sem dar a devida ênfase no aspecto experimental. Módulos para experiências relacionada à comunicação por luz visível (VLC – *Visible Light Communications*) foram também objeto de trabalhos reportados na literatura específica (FUADA, 2018).

O mercado internacional oferece alguns produtos dedicados ao ensino de comunicações óticas, encontráveis nos catálogos de empresas especializadas, mas sua disponibilidade no mercado nacional é ainda limitada, dificultando a implantação de laboratórios temáticos no ensino de engenharia. A PASCO¹ oferece um conjunto evoluindo do clássico experimento do guiamento em jato d'água até enlaces de dados em pequenas distâncias (entre computadores) enquanto a SSSO Optical Technology Fibers² disponibiliza instrumentos voltados a experimentos com lasers que, porém, requerem equipamento periférico de maior custo. O apoio específico ao ensino de comunicações por meio de fibra ótica tal é encontrado nas linhas de equipamentos da Industrial Fiber Optics³ ou Scientech⁴. Alguns sistemas para auxiliar o ensino de comunicações podem mesmo ser encontrados em distribuidores genéricos como Alibaba⁵. Mesmo com a popularização das respectivas tecnologias, não são disseminados sistemas educacionais específicos para VLC no espaço livre ou usando abordagens LiFi.

No contexto acima, é natural que o desenvolvimento de técnicas experimentais para ensino de comunicações por luz visível seja objeto de trabalho nos grupos de pesquisa dessa área. Particularmente, tecnologias de LiFi tem grande interesse para disciplinas voltadas a redes de comunicação no domínio ótico (p.ex., Comunicações Óticas, Redes de Acesso), onde os equipamentos para realização de experimentos são reduzidos ou não existentes. Alternativas para desenvolvimento experimental com materiais acessíveis podem assim atrair um maior interesse dos estudantes.

1.1 Comunicações por luz no espaço livre

Os sistemas de comunicações óticas no espaço livre (FSO) são mecanismos capazes de prover comunicação por meio de feixes luminosos como ferramenta de transmissão da informação, sendo ela pela atmosfera ou pelo vácuo (BORAH, 2012). Na Grécia clássica foi descrito o recurso⁶ às fontes luminosas como meio de transmissão, realizadas por meio de sinais de fogo. A partir de novas invenções e contribuições, a exemplo da fibra ótica e posteriormente do laser, nos anos 1960, foi possível um maior desenvolvimento desses sistemas, possibilitando chegar aos marcos atuais.

A moderna transmissão de informações utilizando luz visível, foi demonstrado pela primeira vez pelo Laboratório Nakagawa nos anos 2000 [AHMAD, 2018], porém o interesse em modernizar os LEDs para transmitir dados surgiu em 1990 em alguns países da Europa. Sua viabilidade surgiu devido ao escasso espectro abaixo dos 10 GHz, onde através da utilização de faixas de frequências mais elevadas, faixa esta não licenciada, alguns benefícios puderam ser alcançados.

O LiFi, seguindo a mesma tendência do VLC em utilizar novas faixas de frequências, também é considerado um tipo de comunicação via luz visível, entretanto de maneira a minimizar algumas limitações intrínsecas do VLC, algumas camadas de complexidade foram agregadas. Desse modo, o LiFi é considerado um tipo de comunicação bidirecional completo (podendo ser ponto a multiponto ou multiponto a ponto), com suporte a múltiplos

¹ www.pasco.com

² www.ssoptical.com/educational

³ www.i-fiberoptics.com

⁴ www.scientechworld.com

⁵ <https://cngtee.en.made-in-china.com/product/cduflgOrHTAX/China-Portable-Experimental-Optical-Fiber-Communication-Comprehensive-Experimental-Device.html>

⁶ Ésquilo descreve esse mecanismo na tragédia Agamenon (458 A.C.), linhas 11-12 e 29-37. In: Orestia, Zahar Editora, M.G. Kury (trad.) 6ª. ed. (1991).

usuários e suas respectivas mobilidades (HASS, 2016). Seu termo foi cunhado e demonstrado pela primeira vez em 2011 por Harald Haas (considerado o inventor da tecnologia) em sua TED Talk. Os primeiros experimentos de Hass, iniciados em 2006 com outros pesquisadores, já forneciam bons resultados, sendo estes bem próximos de valores teóricos e com taxa de erro de bit na ordem de 10^{-3} (AFGANI, 2006). A partir de então, diversos trabalhos surgiram, apresentando algumas variações de dispositivos transmissores e receptores, bem como técnicas de modulação, chegando ao marco de taxas de transmissão na ordem de algumas dezenas de Gbps, conforme o trabalho em (LEE, 2020).

A arquitetura LiFi consiste em três elementos fundamentais, sendo: transmissor, receptor e canal ótico. O primeiro deles, responsável por viabilizar o envio das informações, consiste tipicamente em um LED, porém em casos em que não é necessária a função de iluminação, dispositivos operando no infravermelho próximo ou o laser podem ser utilizados. O receptor, baseia-se em um fotodetector capaz de converter a potência ótica recebida pelo LED de volta em um sinal elétrico, sendo esse fator de conversão denominado responsividade. Já o canal ótico é o meio pelo qual o sinal será propagado, estando este sujeito às fontes de ruído oriundos de lâmpadas ou a luz solar, por exemplo.

1.2 Proposta

Neste trabalho apresentamos o desenvolvimento de um sistema protótipo simples para VLC/LiFi voltado ao uso no ensino e baseado na arquitetura de um processador Arduino, cujos componentes são de fácil acesso, custo reduzido e agregados a uma ampla gama de sensores, de uso disseminado em instituições de ensino e bom apoio por meio de grupos temáticos na *web*. Por meio da utilização do protótipo proposto, é possível obter alguns parâmetros importantes da transmissão, não apenas no tocante às disciplinas no domínio ótico, mas também quaisquer outras com conceitos similares, a exemplo de antenas. Desse modo, de maneira prática, o sistema permite o apoio na instrumentação das propriedades básicas de transmissão, bem como estudar a distribuição do sinal em cenários críticos, podendo ser na presença de obstáculos ou sob influência de fontes luminosas externas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção conta com a metodologia empregada em quatro diferentes montagens, onde foram variados os tipos de LEDs transmissores e dispositivos de recepção, ora sendo o sensor APDS-9960 e ora contando com a capacidade da câmera de um dispositivo portátil comumente utilizado, o *tablet*. Como ferramenta microcontroladora, optou-se pelo Arduino, conforme mencionado anteriormente e o *software* Matlab para processamento dos dados. A escolha deste último está atrelada à sua popularidade no meio acadêmico, linguagem de programação disseminada, além da compatibilidade com o Arduino por meio da instalação de alguns pacotes, que podem ser encontrados em sites especializados ⁷.

2.1 Experimentos com LED Branco

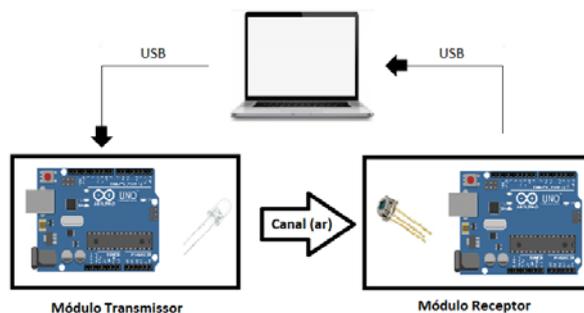
⁷ https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47522-matlab-support-package-for-arduino-hardware?s_tid=srchtitle_Arduino%20packages_

Nos experimentos a seguir, o LED branco foi explorado como mecanismo de transmissão. Para tal, um circuito eletrônico simples foi desenvolvido onde a fonte de alimentação oriunda do microcontrolador (pino digital) foi conectada ao terminal positivo do LED. Já no terminal negativo, uma das extremidades de um resistor de 200 Ω foi colocada em série (limitando a corrente de excitação) e a outra conectada ao pino terra do Arduino. O dimensionamento do resistor utilizado se deu devido às especificações do LED, que possui tensão de alimentação na faixa entre 3V – 3,3V e suporta uma corrente máxima de 20mA.

De modo a desempenhar a função de receptor, contou-se primeiramente com o sensor de luminosidade APDS-9960, que possui características que o credencia a integrar um circuito cujo objetivo é simular uma transmissão do tipo VLC/LiFi. De maneira resumida, algumas características são: sensibilidade à luz ambiente e às cores RGB, tempo de resposta de 20ns etc. Seu circuito foi construído conforme as especificações do fabricante, tendo terminais ligados aos pinos terra e VCC, conforme ocorreu para o circuito transmissor, bem como a utilização de duas portas analógicas responsáveis pelas leituras dos valores de iluminância, dadas em lux.

Outra montagem realizada foi contando com o *tablet* como mecanismo de recepção. Nesse caso, foi mantido o esquemático do circuito transmissor, havendo apenas a substituição do sensor APDS-9960 pelo dispositivo portátil. O *hardware* utilizado foi o *tablet* Samsung Galaxy Tab S6 Lite, que conta com uma resolução de 1080 pixels a 30 fps nas câmeras traseira e dianteira. Demais especificações podem ser encontradas em [canaltech]. O diagrama de blocos na Figura 1 ilustra a montagem contando com LED branco e sensor APDS-9960, onde para o caso contando com o *tablet*, tem-se a substituição do dispositivo no bloco do módulo receptor.

Figura 1 – Esquemático simplificado da montagem usando o LED branco e APDS-9960.



Fonte: Autoria Própria

Com relação à metodologia empregada no experimento recorrendo ao sensor APDS-9960, foi utilizada a técnica de modulação OOK (*ON OFF Keying*) devido à sua facilidade de implementação e bom compromisso entre complexidade e performance. Com auxílio do Arduino, é gerada a sequência binária pseudoaleatória que será transmitida, com dimensão de 300 bits. A dimensão escolhida está associada ao limitado *buffer* do microcontrolador, cuja capacidade é 64 bytes. Logo, levando em consideração o exposto, aliado ao fato que a alocação de variáveis ao longo da programação também faz uso do armazenamento

citado, a dimensão sugerida mitiga a necessidade da realização de sucessivas retransmissões e limpezas de *buffer*. Em posse da mensagem que será transmitida, o Arduino é programado de modo a controlar a corrente que passará pelo LED, mais precisamente quando o bit a ser enviado for "1", o circuito permite a passagem de corrente elétrica e por consequência o LED acende. Já para o caso de o bit "0" ser enviado, ocorre o processo inverso, ou seja, não há passagem de corrente e o LED apaga. Esse processo ocorre até o fim do envio da sequência binária, definindo o processo de modulação do sinal através da intensidade luminosa.

Para a correta interpretação da sequência recebida, alguns critérios precisam ser adotados na extremidade receptora. No caso do sensor APDS-9960, o critério adotado foi o de observações ambientais e para o caso do *tablet*, média aritmética dos valores de iluminância coletados. Por meio do primeiro método citado, o valor que será atribuído como limiar de decisão é extraído via medição do nível de luminosidade do local do experimento. A partir desse limiar, ocorre uma comparação do valor instantâneo de iluminância recebido com este, onde caso esse nível de intensidade luminosa exceda o limiar pré-estabelecido, o fotodetector registra o binário "1" e, caso não exceda, o binário "0". Com isso é possível gerar uma nova sequência de 300 bits, sendo agora referente aos dados recebidos. Para os experimentos com o *tablet*, foi necessário recorrer a um aplicativo denominado Luxímetro capaz de coletar os valores de iluminância e exportá-los para um arquivo nos formatos .txt ou .csv (facilmente manipuláveis pelo Matlab), o que justifica sua escolha. Este aplicativo limita a taxa de captura dos dados a um ritmo de 10 bps, que será utilizado nos experimentos descritos na próxima seção. O processo de decisão se deu conforme o caso anterior, sendo aqui os valores instantâneos comparados com a média aritmética obtida. Por fim, o Matlab, em posse das sequências transmitida e recebida, realiza o processo de comparação e calcula a taxa de erro de bit.

2.2 Experimentos com LED RGB

Com relação ao circuito transmissor, se dá de maneira similar ao caso recorrendo ao LED branco, com o diferencial de agora haver a necessidade da utilização de três resistores (um para cada terminal do LED RGB), sendo ambos dimensionados em 220 Ω , devido novamente às especificações do LED. Quanto ao circuito receptor, permanece conforme exposto na subseção 2.1.

No que tange a metodologia, aqui também serão enviados 300 bits de informação, entretanto, será associada uma sequência binária, pré-estabelecida via código, de 10 bits para cada uma das cores RGB. Sendo assim, haverá 10 ciclos de envios (sendo cada ciclo com 30 bits de mensagem), onde o LED oscilará entre as três cores de sua composição a iniciar pelo vermelho, seguido do verde e por fim do azul. Para a correta demodulação dessa informação, a programação nos dispositivos receptores precisou de alguns ajustes, visto que este apresenta distintas responsabilidades para diferentes estímulos. Logo, no caso do sensor APDS-9960, um limiar via observações ambientais foi atribuído a cada uma das cores, sendo o processo de comparação conforme já citado, ou seja, binário "1" caso o valor instantâneo exceda o limiar e "0", caso não. Com o uso do *tablet*, cujo limiar anteriormente foi obtido via média aritmética dos valores coletados, aqui será individualizado por cor, ou seja, uma média será calculada a cada bloco de 10 bits, de modo que é esperado, salvo erros de recepção, que este limiar esteja adequado para seu respectivo conjunto de dados. Ao final, o Matlab compara as sequências enviada e recebida para cálculo da BER.

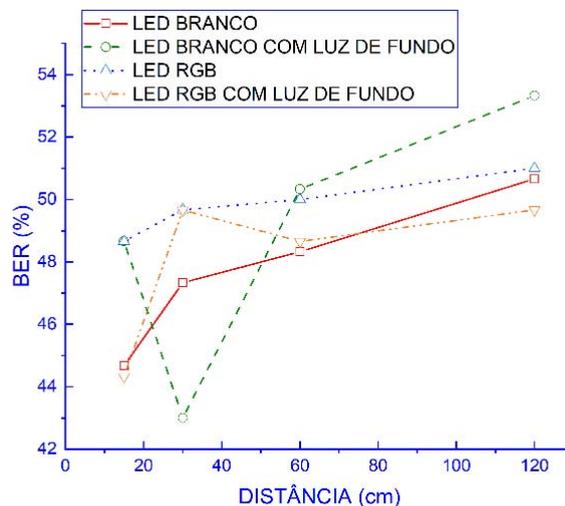
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados recorrendo ao *Tablet*

Para a realização dos experimentos recorrendo ao *tablet*, alguns parâmetros foram variados a título de comparação, a exemplo da distância entre os módulos transmissor e receptor, tipo de LED para transmissão e presença ou não de fontes luminosas externas. Essa última, em particular, mostra-se em diversos estudos como um limitante no alcance no sistema, bem como na taxa de transmissão. Isso ocorre devido a inserção de ruído oriundo de fontes luminosas indesejadas, podendo causar saturação no fotodetector, comprometendo o desempenho do mesmo. Para mitigar tal efeito, sugere-se a utilização de filtros acoplados ao dispositivo receptor, o que foi desprezado por simplicidade neste trabalho.

A Figura 2 ilustra os resultados obtidos para quatro diferentes distâncias, sendo elas 15cm, 30cm, 60cm e 120cm, sob condições com e sem luz de fundo, ou seja, na presença ou não de fontes de iluminação externas, nesse caso originada por uma luminária de teto.

Figura 2 – Comparativo de resultados para a taxa de erro de bit (BER) em função da distância transmissor-receptor para diferentes configurações de medição. As linhas são apenas guias para a visão.



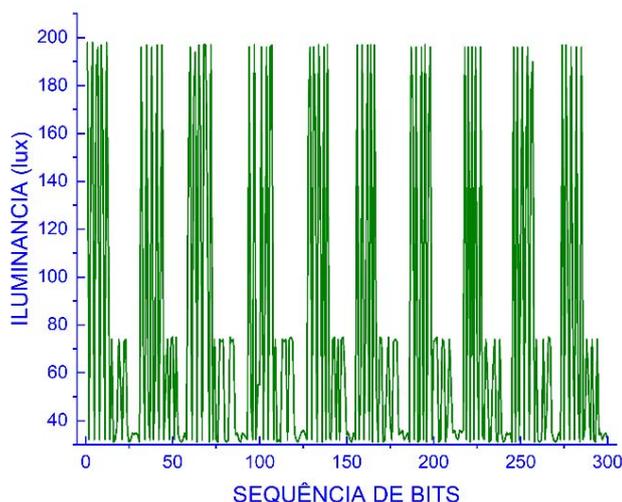
Fonte: Autoria Própria

Conforme pode-se notar, para os casos sob presença de fontes luminosas externas, a BER para a distância em 30 cm mostrou-se anômala quando comparada aos demais resultados. Embora diversas rodadas de experimentos fossem realizadas, não foi possível identificar uma causa para a anomalia citada. Para os demais casos, houve um incremento na taxa de erro de bit com a distância, conforme é esperado segundo a teoria. Outra informação que pode ser extraída da figura, segundo uma análise dos cenários para LED

branco com e sem luz externa (com exceção do ponto em 30 cm), é o melhor desempenho em condição de escuro, novamente coerente com o esperado. Embora os resultados estejam aquém dos obtidos para uma transmissão VLC/LiFi realista, encontram-se similares ao estado da arte, onde com uso de *smartphones* obteve-se uma BER na ordem de 25% para taxas de transmissão de 6 bps sem interferência de luz de fundo, conforme realizado em (YOUNUS, 2020) e acurácia de 100% para taxas de 3 bps, onde não se tem a informação de presença ou não de fontes luminosas externas. Nesse sentido, os resultados obtidos neste trabalho encontram-se adequados aos alcançados em trabalhos recentes.

Outro gráfico obtido para o caso da transmissão contando com o *tablet* e o LED RGB à 15cm e sem luz de fundo, pode ser visto na Figura 3. O primeiro ciclo refere-se à sequência binária da cor vermelha, o segundo da cor verde e por fim, da cor azul. Na figura citada é possível notar o comportamento da transmissão de dados e erros contidos, permitindo dessa maneira observar a diferente resposta espectral do sensor da câmera deste dispositivo às diferentes cores. Percebe-se que, para o caso das cores verde e azul, existe uma dificuldade na distinção das sequências recebidas, visto a baixa separação dos bits "0" e "1". Entende-se que o referido gráfico possa auxiliar experimentalmente a compreensão no que diz respeito a um tema comumente visto no ambiente acadêmico em engenharia de telecomunicações: a Interferência Inter Simbólica (ISS). Embora uma redução no limiar possa beneficiar as cores azul e verde, em contrapartida, poderia prejudicar a performance na cor vermelha.

Figura 3 – Sequência de bits transmitidos pelo transmissor com LED RGB e recebidos através do tablet, descrição detalhada no texto.

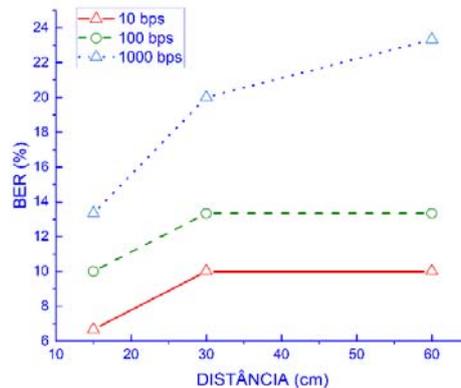


Fonte: Autoria Própria

3.2 Resultados recorrendo ao sensor APDS-9960

Os mesmos cenários estudados para o caso do *tablet* foram explorados aqui, contudo a título ilustrativo, será mostrado o caso sem luz de fundo para diferentes taxas de transmissão, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Taxa de erro de bit (BER) em função da distância transmissor-receptor com o fotodetector APDS-9960, em função da taxa de transmissão. As linhas são apenas guias para a visão.



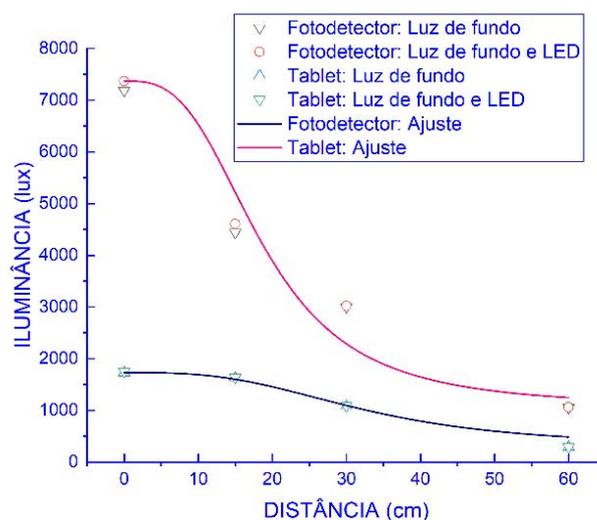
Fonte: Autoria Própria

Aqui foram analisados os resultados para distâncias de 15cm, 30cm e 60cm, sendo esta última a máxima percebida pelo sensor. Através de modificações realizadas via programação, taxas de transmissão de 10bps, 100bps e 1000bps foram exploradas. Por meio de uma análise cuidadosa da Figura 4, nota-se um maior impacto no desempenho do sistema com o incremento da taxa de transmissão quando comparado com o aumento da distância entre os módulos (sendo este último mais facilmente contornado via correta calibração do limiar de decisão). Já a taxa de transmissão mostra-se mais condicionada às características do *hardware* utilizado, a exemplo do parâmetro tempo de resposta. Para os outros cenários medidos, observou-se um comportamento similar além de um pior desempenho em condições sob fontes de iluminação externa.

3.3 Perfil de intensidade luminosa em campo distante

O objetivo do experimento a seguir é conhecer o comportamento do perfil de intensidade luminosa para diferentes distâncias. A montagem do sistema se deu através da colocação do LED transmissor branco acoplado à uma luminária de teto, por meio de fios de sustentação. Medidas de iluminância foram realizadas ora com apenas a luz oriunda da luminária, ora com ambas as luzes (luminária e LED do protótipo) acesas. Desse modo, consegue-se, por meio da diferença dos valores de iluminância, notar a capacidade da percepção ou não da luz do protótipo pelo receptor. Inicialmente, o receptor é colocado em alinhamento vertical “perfeito” a uma distância de 150 cm do transmissor e, posteriormente, tendo sua distância radial incrementada para 15cm, 30cm e 60cm. Para fins comparativos, foram utilizados os mesmos receptores já descritos anteriormente e os resultados obtidos encontram-se na Figura 5.

Figura 5 – Iluminância em função da distância entre a normal ao transmissor e a posição do receptor no plano, tanto para o fotodetector APDS-9960 quanto para o *tablet*. Diferentes condições ambientais. As linhas mostram um ajuste empírico para ilustrar a dependência com a distância.



Fonte: Autoria Própria

Através da observação da Figura 5, percebe-se a maior sensibilidade do sensor APDS-9960 quando comparado ao *tablet*, fornecendo valores de iluminância na ordem de 3 a 4 vezes superiores (para as mesmas distâncias). Além disso, o sensor demonstrou uma queda mais evidente da intensidade luminosa em função do aumento da distância radial, ocorrendo de maneira mais suave para o caso do *tablet*. Para esse último, com alguma liberdade, pode-se comparar a um perfil do tipo sino, compatível com o padrão de radiação dos LEDs, embora fossem necessários mais pontos de medida para comprovar este fato, o que não foi possível ser realizado devido a limitações na capacidade de detecção dos sensores receptores.

3.4 Aplicações ao ensino em Engenharia de Telecomunicações

Com relação às ferramentas laboratoriais e métodos capazes de simular comunicações via luz visível encontram-se, de maneira geral, defasadas ou em alguns casos inexistentes no ambiente acadêmico. Nesse contexto, com o uso do protótipo proposto, entende-se que é possível uma melhor compreensão dos estudantes no que tange assuntos relacionados ao tema. Conforme visto em seções anteriores, é possível obter parâmetros importantes da transmissão por meio de circuitos eletrônicos simples com componentes acessíveis e *softwares* empregados em larga escala.

Após uma análise das ementas de algumas disciplinas do curso de engenharia de telecomunicações da Universidade Federal Fluminense (UFF), entende-se que o protótipo poderia contribuir em algumas delas, a exemplo de: redes de acesso, comunicações óticas e medidas em ótica. De maneira geral, todas visam o estudo dos fundamentos e

caracterização dos principais componentes dos sistemas óticos, parâmetros básicos da transmissão e seu dimensionamento. Sob outro ponto vista, sua aplicabilidade em cursos de educação técnica e tecnológica também poderiam ser analisados. Em ambos os cenários, a contribuição do protótipo vai desde a sua confecção, onde os estudantes poderiam consolidar seus conhecimentos, a partir do conhecimento de todos os componentes envolvidos, com suas respectivas características e funcionalidades, realizando um dimensionamento adequado para suas necessidades, desde a compreensão de conceitos, muitas vezes abstratos, de maneira prática como, por exemplo: BER, taxa de transmissão, identificação de comprimentos de onda distintos, avaliação da sensibilidade do fotodetector e ângulo de abertura de um LED.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo a exposição de alguns protótipos simplificados para fins educacionais que permitam a realização de comunicação via luz visível. Para tal, de modo a contextualizar o tema, foram mencionados alguns marcos já realizados anteriormente, bem como alguns sites ou empresas que forneçam algum mecanismo para inserção do aprendizado de forma prática em sala de aula, evidenciando a necessidade do estudo de ferramentas alternativas e de baixa complexidade/custo no ambiente educacional.

Conforme sugerido, algumas disciplinas poderiam ser beneficiadas pelo sistema, de modo a agregar um conhecimento mais amplo aos estudantes, que por sua vez, poderiam confeccionar seus próprios protótipos e obter seus respectivos resultados. Acredita-se que dessa maneira, alguns conceitos ou parâmetros, muitas das vezes abstratos, seriam melhores compreendidos, não apenas no tocante à disciplinas no domínio ótico, mas em outras com fundamentos similares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências CAPES (Código de Financiamento 001), CNPq e FAPERJ pela concessão de bolsas de estudo e financiamento a projetos de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABDALLA Jr., H. *et al.* Experiences of applying a blended learning approach to teaching optical communication systems. **Int. J. Electrical Eng. Education**. v.49, n.2, p.136-145, 2012.

AHMAD, Arhum; KASHYAP, Tanuja. LIGHT FIDELITY DESIGN FOR AUDIO TRANSMISSION USING LIGHT DEPENDENT RESISTOR. **Journal on Communication Engineering and Systems**. v.7, n. 29, 2018.

ALFAGANI, M. Z. *et al.* Visible light communication using OFDM, *2nd International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 2006. TRIDENTCOM 2006.*, Barcelona, Spain, 2006, pp. 6 pp.-134, doi: 10.1109/TRIDNT.2006.1649137.

BORAH, D. K. *et al.* A review of communication-oriented optical wireless systems. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**. vol. 91, 2012.

CANALTECH. Galaxy Tab S6 Lite.

Disponível em: <https://canaltech.com.br/produto/samsung/galaxy-tab-s6-lite/>. Acesso em: 11 mar. 2023.

CARVALHO, P. A.; PEREIRA, A. G.; CARVALHO, J. L. R. LI-FI (Light-Fidelity): Uma luz na evolução das comunicações. **CES Revista**. v.29, n.2, p.136-157, 2015.

EL AZIZ, A.A. Education development employing latest free space optical research papers for undergraduate communication engineering students in class and examination. Education and Training in Optics and Photonics. **Proc SPIE** v.11143, p.1114338-1--114338-7, 2019.

FUADA, S.; ADIONO, T. Visible light communication kits for education. **J. Edu. Training**. v.5, n.2, p.39-49, 2018. GARCIA, N. M.; KALINOWSKI, H. J. Um espectroscópio simples para uso individual. **Cad. Cat. Ens. Fis.** v.11, n.2, p.134-140, 1994.

HAAS, Harald *et al.* What is LiFi?. **J. Lightwave Technol.** v.34, 1533-1544, 2016.

HECHUAN. Analysis on teaching reform of optical fiber communication in higher vocational schools. **Adv. Social Science, Education and Humanities Research**. v.85, p.13-16, 2016.

KALINOWSKI, H. J.; FABRIS, J. L.; AZEVEDO, J. C. R. Multidisciplinary approach in the teaching of optical technologies for electronic engineers. In: Education and Training in Optics 1996, Delft (NL). **Proc SPIE** v.3190, p.196-199, 1997.

KALINOWSKI, H. J.; GARCIA, N. M. D. Uma alternativa econômica para redes de difração no laboratório de ensino. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, v.7, n.1, p.64-72, 1990.

KALINOWSKI, H.J. *et al.* Light, Optics, Action ... Enhancing Science's Teachers Knowledge in Modern Optics Applications. In: OSA Forum on Education 1991, Santa Clara (CA).

LEE, Changmin *et al.* Advanced LiFi technology: Laser light, **Proc. SPIE** v.11302, Light-Emitting Devices, Materials, and Applications XXIV, 1130213, 2020

LUNA, J. C. *et al.* Sistema de transmissão por fibra ótica para uso didático. **Rev. Soc. Bras. Telecom.**, v.8, n.1, p.54-64, 1993.

VISCAYA-GUARIN P. R. *et al.* Educational fiber optic transmission equipment with dedicated BER features. In: Education in Optics, 1991, Leningrad (RU). **Proc. SPIE** v.1603, p.490-495, 1991.

YOUNUS, M.; ALWAN, Z.; ALDARKAZALY, Z. Data transmission using li-fi technique. **International Journal of Advanced Science and Technology**. v. 29, n. 3, p. 7367" – 7382, 2020

EDUCATIONAL PROTOTYPE FOR VLC/LIFI TEACHING

Abstract: *With the growing interest in studies on visible light communication techniques (VLC), in particular Light Fidelity (LiFi) in addition to, in the general context, its lagged laboratory coverage at the national context, research into alternative mechanisms that can support experiments related to the theme in academic environments.*

In this sense, this work aims, with the support of Arduino and Matlab, tools that are widely known, easily acquired and supported via web forums, to make a simplified prototype system that allows communication via visible light and that can help in teaching in Telecommunications Engineering. From its use, some parameters seen only theoretically in the classroom can be understood in a practical way, as well as its use for measurement in critical communication scenarios, whether in the presence of obstacles or under external lighting sources, in addition to enable the study of the light intensity profile in the far field.

Keywords: *Engineering Education, Visible Light Communication, Light Fidelity*