



## Simulação e ensaios de sistemas de comunicação óptica sem fio

### RESUMO

Lucas Zembrani Folle  
[lucas.zfolle@gmail.com](mailto:lucas.zfolle@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**OBJETIVO:** A comunicação óptica sem fio através da luz visível está sendo desenvolvida como uma nova tecnologia no campo das comunicações, aproveitando-se do barateamento e da popularização das lâmpadas LED, com a pretensão de substituir o Wi-Fi em certos ambientes. Este projeto se propôs a desenvolver um sistema de transmissão de dados ponto a ponto por meio da luz emitida por um LED em um canal sem fio. **MÉTODOS:** Tal sistema é composto por um LED branco de alta potência, fotodiodo e amplificadores. Os amplificadores que compõem os *front-ends* de recepção e transmissão são parte importante do sistema e foram projetados e simulados de modo a garantir a sensibilidade, banda passante e relação sinal-ruído necessárias aos requisitos de projeto do enlace de comunicação. **RESULTADOS:** Resultados de simulação mostram que se pode atingir uma banda de até 40 MHz com o amplificador projetado. **CONCLUSÕES:** Associado ao uso de técnicas de modulação avançada, que oferecem alta eficiência espectral, como o OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), torna-se possível obter taxas de transmissão além de 40 Mbps em um *link* ponto-a-ponto unidirecional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Comunicação óptica sem fio. LED. Luz visível.

## INTRODUÇÃO

Percebe-se facilmente a crescente popularização das lâmpadas LED (Light-Emitting Diode) no mercado. A indústria de iluminação tem buscado muito o barateamento destas lâmpadas e, assim como a indústria de semicondutores, buscam LEDs cada vez mais eficientes energeticamente. Em comparação com as lâmpadas fluorescentes compactas, as lâmpadas LED podem garantir uma economia de até 35%, e comparando com as incandescentes, a economia chega a até 80% e com durabilidade até 25 vezes maior (PROCEL, 2015).

Por outro lado, agora no ramo de telecomunicações, o grande tráfego de dados e a demanda por maiores velocidades tem congestionado o espectro de rádio frequência cada vez mais. Nota-se atualmente o mercado de roteadores Wi-Fi movendo seu espectro para a faixa dos 5 GHz, como uma tentativa de desafogar o espectro em 2,4 GHz, já ocupada por muitos protocolos de comunicação.

Com o cenário acima identificado, as atenções se voltaram para a Visible Light Communication (VLC). A VLC é uma nova tecnologia no ramo da comunicação óptica sem fio, há muito tempo explorada em comprimentos de onda de infravermelho, mas que recentemente encontrou uma aplicação em comprimentos de onda visíveis.

No presente trabalho, serão abordados os conceitos fundamentais do VLC, os componentes de um sistema de comunicação óptica sem fio, o projeto do front-end de recepção de um enlace óptico sem fio e, finalmente, os resultados das simulações deste circuito.

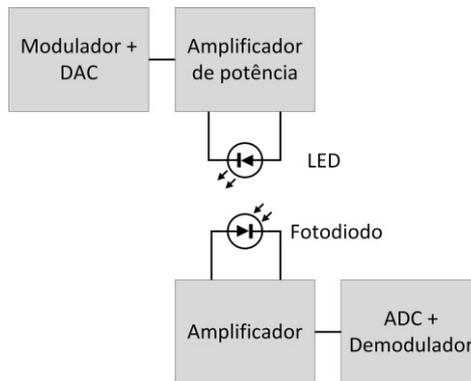
Esta tecnologia é baseada no uso de LEDs brancos e na luz visível emitida por eles como portadora. A luz é recebida por fotodiodos sensíveis ao espectro de luz visível. A dualidade dos LEDs nesta aplicação, como iluminação e transmissão de dados, torna seu uso interessante. A transmissão de dados através dos LEDs é possível graças à rápida modulação da intensidade de luz emitida, geralmente apresentando uma banda de passagem de cerca de 20 MHz (ELGALA, 2009).

Como vantagens à comunicação através da rádio frequência, a VLC apresenta excelente compatibilidade eletromagnética (EMC) uma vez que a luz visível não interfere com os circuitos eletrônicos de RF. Por esse motivo, a VLC é adequada aos ambientes em que emissão de rádio frequência é indesejável, como cabines de aviões e hospitais. Tido como outra vantagem, o seu baixo consumo relativo a sistemas de RF muito se deve ao reaproveitamento da iluminação ambiente já instalada. A segurança dos dados também é uma vantagem, já que a luz visível não penetra em paredes, não sendo acessível fora do ambiente de cobertura.

A Figura 1 abaixo apresenta de forma simplificada o sistema de comunicação óptica sem fio e seus componentes.

O caminho dos dados se inicia no lado esquerdo superior do diagrama. Os bits de entrada são mapeados em uma determinada constelação (por exemplo, 16-QAM, 4-PAM, 8-PSK, etc.) e, a partir daí, podem ser modulados de formas diferentes, a depender da técnica adotada. Após a modulação dos símbolos, o sinal é convertido para um sinal analógico através de um conversor digital-analógico (DAC) e entregue a um amplificador de potência, responsável pela modulação da corrente fornecida ao LED.

Figura 1. Diagrama simplificado de um sistema de comunicação óptica sem fio



Fonte: autoria própria

O sinal luminoso modulado é transmitido através do meio e detectado por um fotodiodo. Ele então transforma a luz modulada em um sinal elétrico que deve ser previamente amplificado para que seja finalmente convertido por um conversor analógico-digital (ADC). O sinal convertido é então demodulado e demapeado com a constelação adotada para que se recupere, por fim, os bits transmitidos.

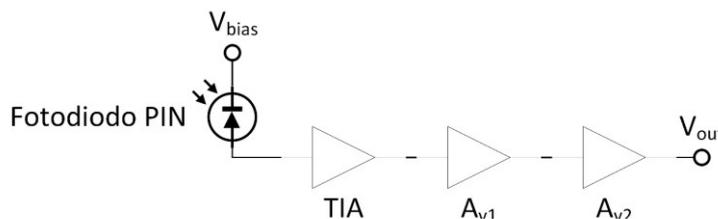
A técnica de modulação usual é a Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM), que se baseia na transmissão dos símbolos em múltiplas subportadoras ortogonais, ou seja, que possuem frequências centrais ordenadas de forma que não interfiram entre si (PRASAD, 2004).

Esta técnica possui a vantagem de apresentar tempos de símbolos maiores, o que aumenta a robustez da transmissão contra canais seletivos e com desvanecimento rápido causado por efeitos de múltiplos caminhos. Além disso, por possuir subportadoras ortogonais, estas são organizadas de forma muito mais compacta no espectro, conferindo uma eficiência espectral maior.

## METODOLOGIA

Independente da técnica de modulação adotada ou como serão gerados os símbolos, parte fundamental para o enlace de comunicação são os front-ends ópticos, compreendendo os amplificadores, fotodiodo e LED. Neste trabalho o objetivo foi projetar e simular o front-end de recepção, que tem a função de transformar um sinal óptico em um sinal elétrico com níveis de tensão adequados para o conversor analógico-digital. O diagrama simplificado do front-end de recepção pode ser visto na Figura 3 abaixo.

Figura 2. Diagrama simplificado do *front-end* de recepção.



Fonte: autoria própria

O fotodiodo tem como função transformar a energia luminosa incidente em uma corrente elétrica proporcional à potência óptica recebida. Sabe-se então que é necessário o uso de um amplificador que receba um sinal de corrente e entregue em sua saída um sinal de tensão, deste modo, a topologia mais adequada é o amplificador de transimpedância. Dada a grandeza do sinal obtido pelo fotodiodo, sabe-se também que o ganho do amplificador deve ser relativamente alto (OSRAM, 2015).

Os requisitos levantados para o amplificador de transimpedância foram a banda de passagem mínima de 30 MHz; sinal mínimo de entrada de 10 nA; sinal máximo de entrada de 1  $\mu$ A e sinal máximo de saída de 3Vpp.

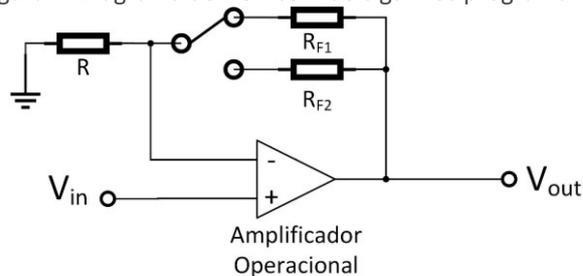
Com base nos cálculos apresentados no *Application Report SNOA942* (TEXAS INSTRUMENTS, 2015), da Texas Instruments, comparou-se dois amplificadores operacionais para a aplicação, o LMH6629 e o OPA657. Nesta comparação o LMH 6629 apresentou melhor relação sinal-ruído, maior banda passante e maior ganho, sendo então o amplificador escolhido para o projeto.

Porém, uma característica limitante deste projeto é o ganho fixo do amplificador. Assim, há uma faixa de distâncias em que é possível se obter um sinal com razoável para a resolução do ADC e que não haja saturação do sinal.

Uma solução seria o uso de um amplificador com ganho ajustável. Deste modo, o ganho seria selecionado de forma que o sinal sempre tenha uma amplitude intermediária, aproveitando o máximo da resolução do ADC, ao mesmo tempo em que não ocorre distorção do sinal.

A topologia adotada foi o *Programmable Gain Amplifier* (PGA), que consiste em um amplificador operacional usual, porém com o acréscimo de chaves analógicas para a seleção dos resistores de *feedback* que determinam o ganho do amplificador. Para este trabalho, os dois estágios de pós-amplificação mostrados na Figura 3 foram modificados, com a inclusão de chaves analógicas, para que ambos tivessem dois ganhos selecionáveis cada, totalizando uma combinação de

Figura 4. Diagrama do PGA com dois ganhos programáveis.



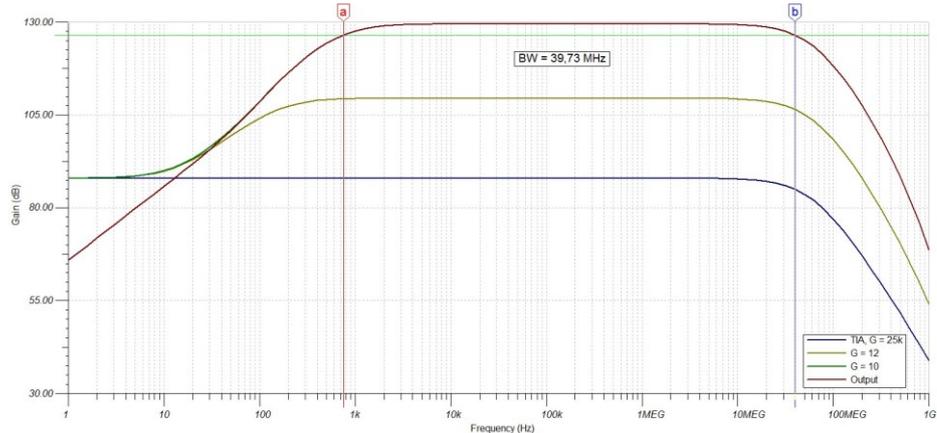
Fonte: autoria própria

quatro ganhos. A Figura 4 apresenta o diagrama de um destes estágios.

## RESULTADOS

Os circuitos foram simulados com o *software* TINA-TI e suas respostas em frequência foram obtidas. Primeiramente, simulou-se o circuito amplificador com ganho fixo em 3 M $\Omega$ , sendo seu resultado apresentado na Figura 5.

Figura 5. Resposta em frequência do amplificador com ganho fixo.



Fonte: autoria própria

A resposta em frequência do PGA com os diferentes ganhos se aproxima muito do amplificador com ganho fixo, havendo pouca diferença na banda passante. Além disso, foi calculada a SRN total do *front-end* de recepção a partir da Lei de Friss como sendo 60,5 dB (TEXAS INSTRUMENTS, 2015). Com o uso de PGAs foi possível obter o máximo valor de saída, 3V, com entradas de 1  $\mu$ A (maior ganho) a até 10  $\mu$ A (menor ganho).

## CONCLUSÕES

Demonstrou-se possível obter uma banda de passagem de até 40 MHz, superior à especificação, sendo o restante das especificações atendidas satisfatoriamente. Os próximos passos deste projeto envolverão a construção do circuito e ensaios pelos quais serão obtidos valores de corrente fotoelétrica mais aproximados a valores práticos. Estes valores serão usados para o ajuste e calibração do ganho do amplificador.

## Simulation and testing of optical wireless communication systems

### ABSTRACT

**OBJECTIVE:** The visible light communication has been developed as a new technology in the communications field by taking advantage of the cheaper LEDs lamp, it is also expected to overcome the use of Wi-Fi in certain environments. **METHODS:** This project objectives the development of a point-to-point communication system with the light emitted by a white LED through a wireless channel. This system has a white high-power LED, a photodiode and amplifiers. Important part of the system are the optical front-end amplifiers, which were developed and simulated to achieve the required sensibility, bandwidth and signal-to-noise ratio. **RESULTS:** Simulation results showed that it is possible to achieve a bandwidth of approximately 40 MHz with a SNR of 60,5 dB. **CONCLUSIONS:** The use of advanced modulation techniques which provide great spectral efficiency, for instance, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), may allow the system to reach bitrates greater than 40 Mbps considering a unidirectional point-to-point link.

**KEYWORDS:** Optical wireless communication. LED. Visible light.

---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Araucária e à UTFPR pelo apoio ao projeto.

## REFERÊNCIAS

PROCEL, **Resultados 2015**. Disponível em: <[http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2015/docs/rel\\_procel2015\\_web.pdf](http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2015/docs/rel_procel2015_web.pdf)> Acesso em 19 de agosto de 2017.

ELGALA, H. et al., **Indoor Broadcasting via White LEDs and OFDM**. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 55, No. 3, Agosto 2009.

PRASAD, R. **OFDM for Wireless Communications Systems**. Artech House Universal Personal Communications series. p. 13. 2004.

OSRAM, **Datasheet do fotodiodo SFH 229**. Disponível em: <[http://www.osram-os.com/Graphics/XPic7/00211463\\_0.pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic7/00211463_0.pdf)> Acesso em 19 de agosto de 2017.

TEXAS INSTRUMENTS, **Transimpedance Amplifiers (TIA): Choosing the Best Amplifier for the Job**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/an/snoa942/snoa942.pdf>> Acesso em 8 de abril de 2017.

**Recebido:** 31 ago. 2017.

**Aprovado:** 02 out. 2017.

**Como citar:**

FOLLE, L. Z. Simulação e ensaios de sistemas de comunicação óptica sem fio. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: 27 de agosto de 2017.

**Correspondência:**

Lucas Zembrani Folle

Avenida Iguaçu, número 2628, Bairro Água Verde, Curitiba, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:**

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

