

LI-FI: Comunicação de dados através da luz visível

LI-FI: Data communication through visible light

Edmar de Oliveira - Docente do Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva – FAIT. Engenheiro Eletricista. Engenheiro Civil. Engenheiro de Segurança do Trabalho.

E-mail: eoliveira@fait.edu.br

Maria Augusta Simão Coluço - Discente do Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva – FAIT. E-mail: simaocoluco@gmail.com

Resumo

Este artigo discorre a respeito da tecnologia de comunicação de dados através da luz visível, a partir de uma revisão bibliográfica sobre o tema, nele são abordados os principais elementos e a base de funcionamento da maioria dos sistemas de comunicação. No decorrer do artigo são citadas algumas tecnologias desenvolvidas com a finalidade de comunicação, tais como o telégrafo, Wi-Fi e fotofone até chegar na comunicação através da luz visível com a tecnologia LED, ou seja, a tecnologia Li-Fi, onde além do funcionamento dessa tecnologia são apresentadas as principais aplicações e melhorias que seu desenvolvimento tende a oferecer na área de comunicação de dados e benefícios para os usuários de dispositivos conectados à rede. Ao final uma breve observação do porquê investir nos estudos sobre Li-Fi.

Palavras-Chave: Sistema de comunicação. Internet. Rede. Comunicação de dados. LED.

Abstract

This paper discusses about data communication technology through visible light, from the literature review about the subject, address in the main element and the working basis of most communication systems. Throughout the paper are listed some Technologies developed with the purpose of communication, such as the telegraph, Wi-Fi and photophone, until reaching the visible light communication with LED technology, that is, the Li-Fi technology. Then, in addition of how this technology works, are showed the main applications and improvements that the development of this technology tend to offer. Also are presented the benefits around data communication for all users of devices connected to the network. At the end, some conclusions of why investing in Li-Fi studies.

Key Words: Communication systems. Internet. Network. Data communication. LED.

INTRODUÇÃO

A largura de banda da radiofrequência disponível atualmente não é suficiente para suprir a demanda futura de aparelhos com conexão à rede sem fio de transferência de dados. Em função disso uma questão: “o que poderia ser feito para atender essa carência futura?”

Pensar no desenvolvimento de uma tecnologia que forneça soluções com segurança e velocidade de conexão é fundamental, afinal grande parte das pessoas vive hoje conectadas em seus celulares, tablets e notebooks. Além disso, o mundo migra para que outros objetos do cotidiano estejam conectados aos usuários para recebimento e transmissão de dados. Carros, geladeiras e sistemas de iluminação e segurança, máquinas e equipamentos agrícolas incluindo-se irrigação, tornam efetiva essa conectividade por intermédio da tão falada “Internet das coisas”.

O aumento de equipamentos com tecnologia de transferência de dados requer disponibilidade de largura de banda para que o acesso à rede seja realizado para uma ótima experiência do usuário.

Nesse sentido, difundir os estudos sobre Li-Fi (Comunicação de dados através da luz visível) é essencial para que se invista no desenvolvimento desse tipo de tecnologia que apresenta estudos promissores quanto a segurança na transmissão de dados, alta taxa de velocidade e uma disponibilidade de largura de banda muito maior que atualmente disponíveis.

A metodologia utilizada neste trabalho tem a contribuir com a divulgação e estudos sobre a tecnologia Li-Fi, foi a revisão bibliográfica de monografias e artigos de importantes instituições de ensino no Brasil e no exterior.

2 Sistema de Comunicação

Nos primórdios, a fim de se comunicar, o homem enquanto caçador contava os acontecimentos ordenadamente na sequência dos fatos através de desenhos e símbolos conhecidos como pictogramas e ideogramas. Para comunicação à distância, sinais sonoros como o som do berrante e do gongo e sinais visuais como sinais de fumaça foram os primeiros a serem usados pelo homem (PERLES, 2021).

A comunicação é realizada através de alguma linguagem que usa algum tipo de sistema de símbolos, de sinais ou de códigos na transmissão de mensagens. O alfabeto constituído por 26 letras e a matemática com a escala numérica de 0 a 9, são exemplos de um sistema de comunicação; e na computação existe o sistema binário, formado pelos símbolos 0 e 1 (LATHI, 2012).

De acordo com Bay et al. (2016), a informação flui sempre da fonte para o destinatário e o responsável pela produção da informação enviada é a fonte, podendo ela ser uma pessoa ou um computador ou até mesmo algum tipo de equipamento.

A mensagem produzida em uma fonte pode ser a fala de uma pessoa ou algum dado. A fala humana, como é um dado não elétrico, precisa passar por conversão através de um transdutor de entrada, que pode ser um microfone que transformará a fala em uma forma de onda elétrica (LATHI, 2012).

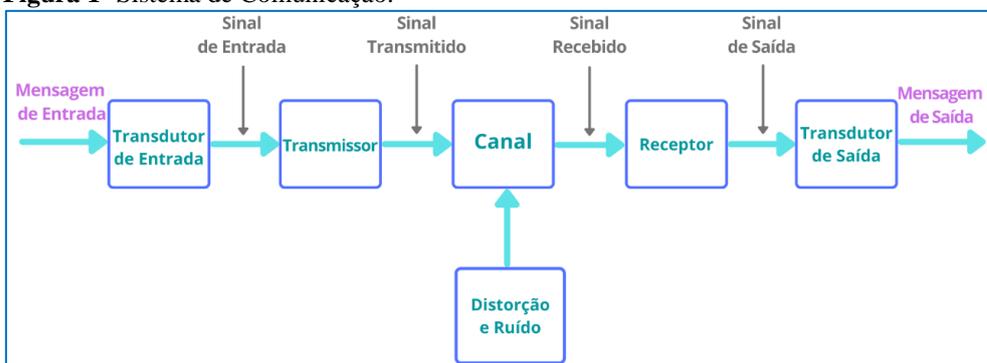
O papel do transmissor é converter a informação em um sinal para ser transportado na rede de comunicação, no caso de sinais analógicos isso ocorre por meio de um processo de modulação; e para sinais digitais é através de um processo de codificação, feito por aparelhos como telefone e modems (DANTAS, 2010 apud BAY et al, 2016). Além disso, o transmissor pode ser constituído de outros subsistemas, tais como conversor A/D – analógico/digital, codificador e modulador. Por outro lado, o receptor pode ser um demodulador, decodificador e conversor D/A (LATHI, 2012).

A rede de comunicação é o coração de um sistema de comunicação, pois transporta do transmissor ao receptor o sinal com a informação. Redes de computadores locais – LAN – e redes de longa distância – WAN, além de redes de TV e telefonia são exemplos de redes (DANTAS, 2010 apud BAY et al, 2016). Também denominado canal, onde sinais elétricos são transportados, a rede pode ser um cabo de fibra ótica, um cabo coaxial ou vários fios de cobre trançados (LATHI, 2012).

O sinal recebido do canal, reverte as alterações realizadas pelo transmissor e remove as distorções cometidas pelo canal e assim o transdutor de saída que alimenta o receptor, converte o sinal elétrico para a mensagem inicial (LATHI, 2012). Ou seja, o sinal vindo da rede é convertido em informação para que o destinatário possa entendê-la, para isso ocorre o processo de demodulação para sinais analógicos e a decodificação para sinais digitais (DANTAS, 2010 apud BAY et al, 2016).

Os blocos fundamentais, comuns na grande maioria dos sistemas de comunicação estão ilustrados na Figura 1:

Figura 1 -Sistema de Comunicação.



Fonte: Autoria Própria (2021).

A largura de banda, que é a faixa de frequência de transmissão, e a potência de sinal, que está relacionada a qualidade de transmissão, são considerados dois parâmetros importantes na transmissão de sinais. Se a taxa de transmissão de dados é aumentada, comprimindo o sinal no tempo, a largura de banda também deverá ser aumentada na mesma proporção. Um sinal enviado com maior potência, diminui os efeitos de ruído e interferência do canal (LATHI, 2012).

SNR - *SignaltoNoiseRatio*(Relação Sinal-Ruído) – é a relação sinal ruído que ocorre durante a transferência de sinais e é dada pela razão entre a potência do sinal e a potência do ruído. Se aumentar a potência de transmissão do sinal, o valor da relação SNR será maior e dessa forma a transmissão poderá percorrer distâncias maiores com fidelidade do sinal (BONINI, 2018).

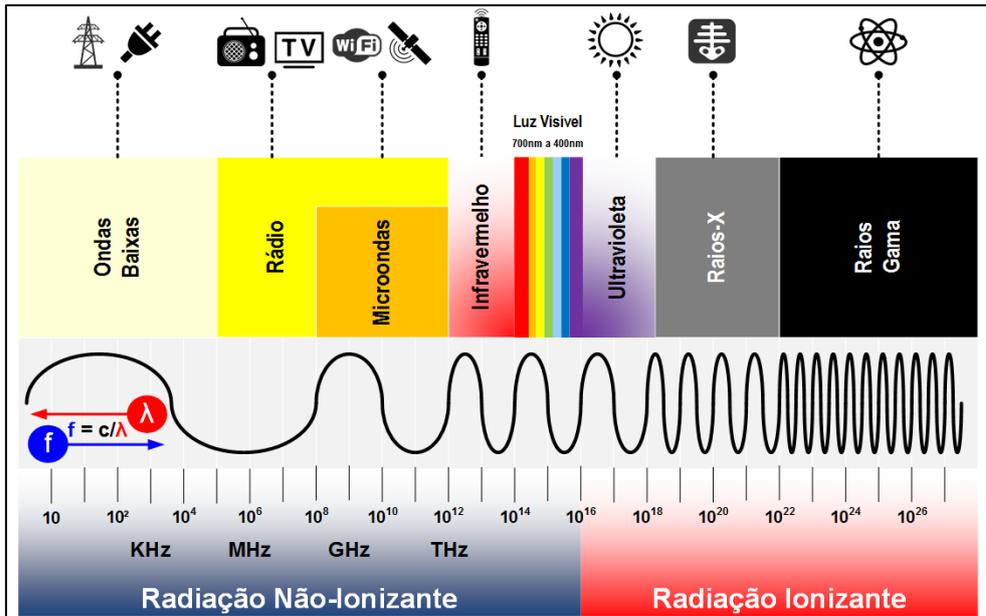
Segundo Lathi (2012), um sinal analógico é contínuo no tempo e contínuo em intervalos de valores, o que caracteriza uma qualidade inferior de sinal; já um sinal digital é descontínuo no tempo e com intervalo finito de valores, o que o torna mais preciso e com processamento mais rápido. A demanda de processamento na recepção do sinal, varia conforme a frequência e a qualidade essencial para que a mensagem seja transmitida. De acordo com o que diz o teorema da amostragem – teorema de Nyquist, a frequência de amostragem do sinal deve ser no mínimo o dobro do que a frequência original do sinal, para que dessa forma seja possível diminuir as perdas de informação na reconstrução desse sinal.

2.1 Breve histórico do desenvolvimento da tecnologia da comunicação

Os telégrafos faziam parte do cotidiano de uma parte dos cidadãos nos Estados Unidos por volta do ano de 1870. Alexander Graham Bell e Elisha Gray, cada um à sua maneira, descobriram que tons sonoros poderiam ser enviados através de fios telegráficos e assim deram origem ao telefone. Com o tempo, a comunicação telefônica em grandes distâncias passou a ser dificultosa devido às interferências de uma transmissão em outra, ocasionadas em razão do emaranhado de fios e ruídos do sistema. Em meados do século XX, com a amplificação eletrônica e as modulações analógicas foi possível corrigir esses problemas. E em 1956 surgiu o primeiro telefone digital (PAMPANELLI, 2004).

De acordo com o que diz Chakraborty (2017), o aumento desse tipo de tecnologia repercutiu nos hábitos da população, o que resultou na alteração de diretrizes de pesquisas científicas bem como no desenvolvimento de tecnologia. Dessa forma, em decorrência da portabilidade, apareceram novas tecnologias para transmissão de dados sem a necessidade de uso de cabos, como é o caso das ondas de rádio frequência e também do espectro de luz visível.

A Figura 2 representa as divisões do espectro eletromagnético e suas respectivas frequências:



Fonte: Medium (2018).

As ondas eletromagnéticas possuem uma enorme variação de frequências e diferentes comprimentos de onda, a isso é dado o nome de espectro eletromagnético. Provavelmente, a luz, por ser visível, é a parte do espectro eletromagnético mais conhecida pelas pessoas (FLICKENGER, 2008).

2.2 Tecnologia de transmissão sem cabos - Wireless

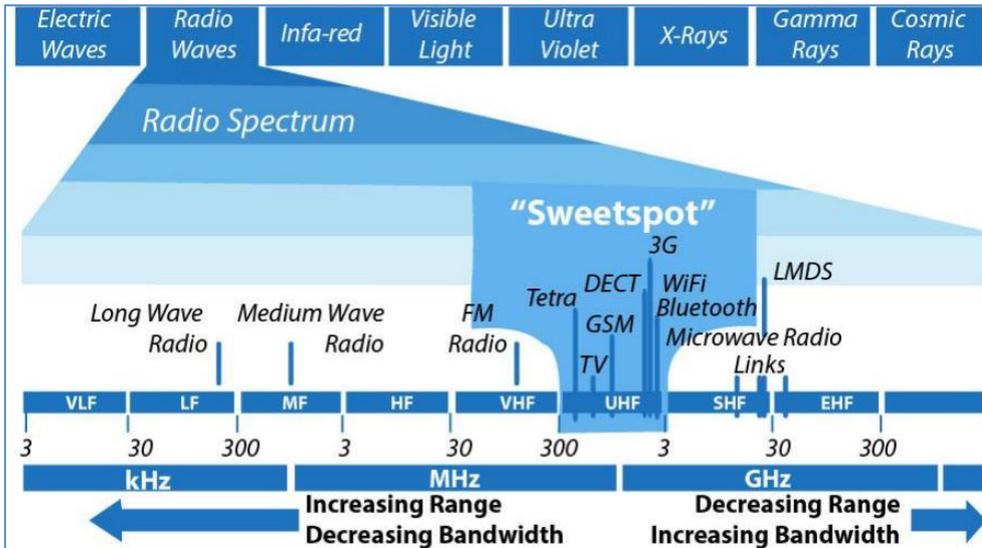
Uma rede sem fio – wireless, é uma rede onde os dados, como arquivos de vídeo e mensagens, fluem através do ar, sem a necessidade de um meio físico. Isso possibilita que as pessoas se comuniquem através dos seus dispositivos em qualquer lugar, o que traz mobilidade à comunicação (ALVES, 2019).

Conforme Argawal et al. (2014), o congestionamento e as limitações da largura de banda (*bandwidths*) do espectro das ondas de rádio, tem atrapalhado o crescimento do sistema de rede sem fio vias ondas de rádio.

A taxa de crescimento do uso de comunicação móvel é bastante alta. As redes sem fio atuais que conectam as pessoas à internet são muito lentas quando vários dispositivos estão conectados. Conforme o número desses dispositivos aumentam, a largura de banda limitada leva a diminuição da velocidade de transferência de dados (NOORBIR et al, 2016).

A Figura 3 ilustra o espectro das ondas de rádio e o ponto ideal (*Sweetspot*) principalmente para comunicação Wi-Fi e 3G; a largura de banda (velocidade da conexão) diminui conforme seu alcance aumenta (comprimento de onda) e a largura de banda aumenta conforme seu alcance diminui:

Figura 3 -Espectro de ondas de rádio.



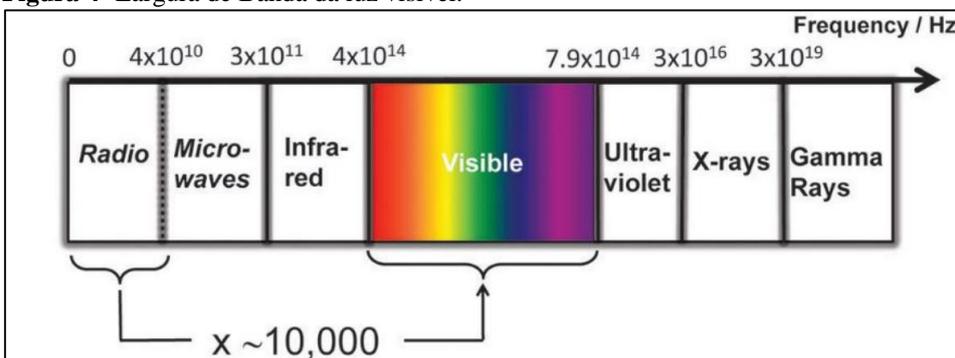
Fonte: Bonini (2018).

Quanto maior o comprimento de onda, maior será o alcance e maior a capacidade de atravessar e contornar objetos e construções. Um comprimento de onda menor, possibilita transportar uma maior quantidade de dados (FLICKENGER, 2008).

Para Argawal et al. (2014), para suprir a demanda por espectro, que aumenta a cada dia, se faz necessário o uso da tecnologia *Optical Wireless Communication (OWC)* - Comunicação Óptica sem Fio. A VLC (Comunicação através da Luz Visível) aponta um amplo espectro de frequências disponíveis e não regulamentado que compreende a faixa de 400 THz à 790 THz (MARÉ, 2018).

Na Figura 4, está representada a faixa de frequência do espectro da luz visível cerca de 10.000 vezes maior que a faixa de frequência das ondas de rádio:

Figura 4 -Largura de Banda da luz visível.



Fonte: Bonini (2018).

Neste cenário, a luz visível pode ser a chave para solucionar a questão do comprimento de largura de banda disponível atualmente, de acordo com Conceição (2015). A VLC, é uma forma de comunicação sem fio onde a modulação de dados é realizada na faixa de luz visível do espectro eletromagnético, onde o comprimento de onda varia de 380nm a 780nm. A VLC

possibilita que os problemas relacionados à radiofrequência sejam reduzidos, pois o espectro da luz visível fornece uma faixa de frequência dez mil vezes maior do que o espectro das ondas de rádio.

2.3 Tecnologia precursora do Wi-Fi

A base para o Wi-Fi surgiu a partir da atriz e inventora austríaca Hedy Lamarr. Ela e o compositor George Antheil notaram que a mudança constante de frequência do emissor e receptor do controle do piano, possibilitava que eles se comunicassem sem serem interceptados. Em agosto de 1942, a Marinha concedeu a patente norte-americana nº 2.292.387 à Lamarr, porém o aparelho só foi utilizado em 1962 pelos militares dos Estados Unidos durante a Crise dos Mísseis na Guerra do Vietnã, quando a patente já estava expirada (UNICAMP, 2021).

A invenção de Lamarr e Antheil foi reconhecida como a precursora de tecnologias como Bluetooth, GPS e Wi-Fi. Em 1997, Lamarr e Antheil foram premiados com *EFF Pioneer Award* concedido pela *ElectronicFrontier Foundation* (EFF) e em 2014 foram admitidos no Hall da Fama dos Inventores dos Estados Unidos. Lamarr foi reconhecida como a primeira mulher a ganhar o *BULBIE Gnass Spirit of Achievement Award*, considerado o Oscar dos inventores (GONZALES, 2018).

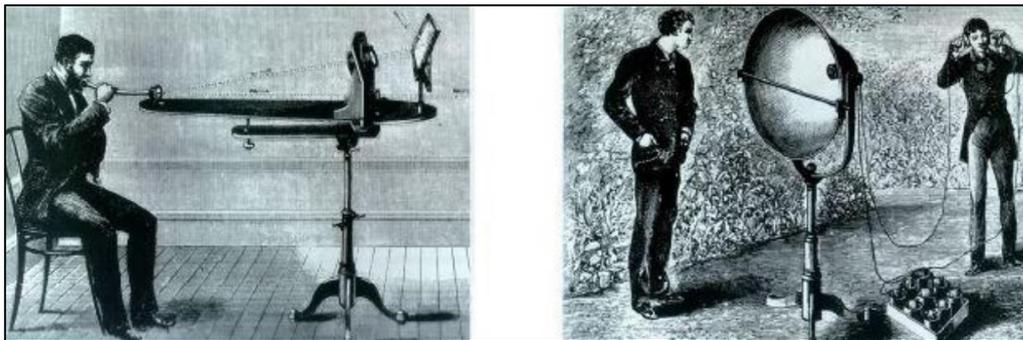
2.4 Comunicação através da luz

Segundo o que disserta ALVES (2019), há muito tempo se utiliza a luz para enviar mensagens, desde o uso do fogo e fumaça por antigas civilizações. Os gregos refletiam a luz do sol em seus escudos durante batalhas para enviar sinais; o povo chinês e romano usava faróis de fogo; e índios americanos se comunicavam através de sinais de fumaça.

Em 1880, Alexander Graham Bell e Charles Tainter com a criação do fotofone, conseguiram aproveitar a luz visível para a comunicação sem fio a uma distância de cerca de 200 metros: uma lente focava a luz solar em um espelho fino, que vibrava com a voz de uma pessoa canalizada por meio de um bocal. O sinal de voz modulado surge a partir dos feixes de luz refletidos da vibração do espelho. Essa luz atravessa outra lente para um espelho parabólico onde uma célula de selênio converte a luz em som (CONCEIÇÃO, 2015).

Na Figura 5, está ilustrada a invenção do fotofone, à esquerda está o transmissor e à direita o receptor:

Figura 5 -Transmissor e receptor do Fotofone.



Fonte: Conceição (2015).

A comunicação óptica passou a despertar interesse a partir da década de 1960 com a amplificação da luz por meio de emissão estimulada de radiação e pelo diodo a laser, as fibras ópticas surgiram na década de 1970 para transmissão de dados a partir da luz. O desenvolvimento de tecnologia e invenções como a grade de Bragg, que funciona como um filtro na fibra ótica, revolucionaram as telecomunicações e trouxeram a infraestrutura para a Internet no fim do século XX (ALVES, 2019).

Consonante ao que diz Karunatilaka et al. (2015), pesquisas relacionadas à transferência de dados através da luz visível, tem chamado atenção quanto a importância da eficiência e efetividade da comunicação e iluminação. Nesse sentido os LEDs estão substituindo a iluminação convencional e tem sido cotado para sua utilização em sistemas VLC por apresentar uma alta taxa de comutação.

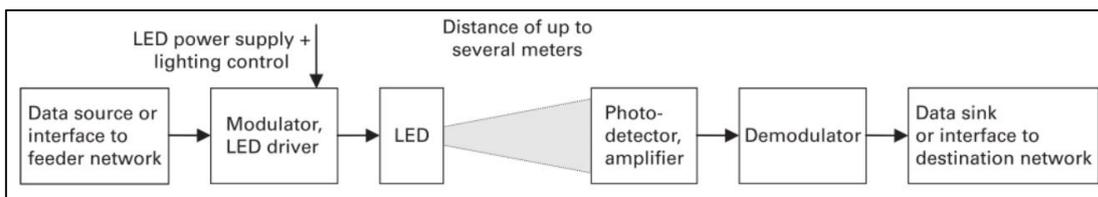
2.5 Tecnologia LED

Para produção do LED branco são necessários três tipos de comprimento de onda de LED, o vermelho (GaAsP), o verde (InGan) e o azul (GaN) que só passou a existir a partir de 1993 desenvolvido pelo engenheiro Shuji Nakamura. Com a mistura dessas três cores foi dado origem ao LED que emite a luz branca (CONCEIÇÃO, 2015). Segundo ALVES (2019) LED é um semicondutor que gera luz quando os elétrons entram no semicondutor e se conectam às lacunas no substrato, e assim a energia é liberada na forma de fótons.

Os LEDs se apresentam como uma opção mais sustentável do que outras tecnologias de iluminação atuais, eles são pequenos, necessitam de pouca manutenção, são resistentes a impactos e vibrações, não emitem radiação, não possuem mercúrio em sua formulação e apresentam significativa resistência aos ciclos de comutação(OSRAM,2015b, apud MARÉ, 2018).

O diagrama de blocos de um sistema de comunicação de luz visível é representado na Figura 6:

Figura 6 -Sistema de comunicação por luz visível.



Fonte: Bonini (2018).

O LED emite um fluxo contínuo de fótons quando aplicado uma corrente elétrica também constante a ele, sendo possível gerar a luz visível. É preciso que a corrente aplicada seja modulada para que seja possível modular a luz visível (MARÉ, 2018).

Em 1999, Grantham Pang usou LED de semáforo modulado para transmissão de áudio e em 2000 Yuichi Tanaka foi pioneiro ao combinar a iluminação e transmissão de dados a partir da utilização de LED (CONCEIÇÃO, 2015).

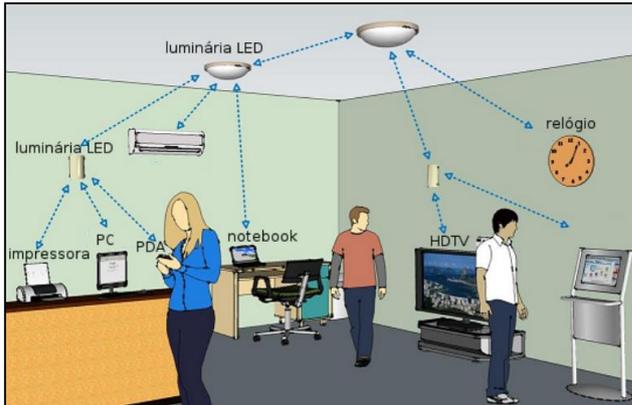
De acordo com Noorbir et al. (2016), Li-Fi é um sistema de comunicação sem fio que utiliza a luz como transmissor de sinal em vez da tradicional frequência de rádio como Wi-Fi. A tecnologia Li-Fi fornece transmissão de dados através da iluminação, sem usar fibra ótica, enviando dados por meio de uma lâmpada LED que varia em intensidade mais rápido do que o olho humano consiga acompanhar. O Li-Fi fornece melhor largura de banda, eficiência, viabilidade e segurança do que Wi-Fi e conseqüentemente oferece mais velocidade na transferência de dados.

2.6 Implementação da tecnologia Li-Fi

É possível utilizar a infraestrutura que já existe para a implementação do Li-Fi, para isso seria necessário apenas substituir as lâmpadas convencionais por lâmpadas LED. O VLC é eficiente, pois lâmpadas LED tem um consumo de energia bastante baixo em relação a outras lâmpadas, além de serem utilizadas simultaneamente na iluminação e na transmissão de dados (CONCEIÇÃO, 2015).

A Figura 7 ilustra uma sala com tecnologia VLC, onde o transporte de dados é realizado por meio da rede elétrica até as luminárias:

Figura 7 -Sala com tecnologia VLC.

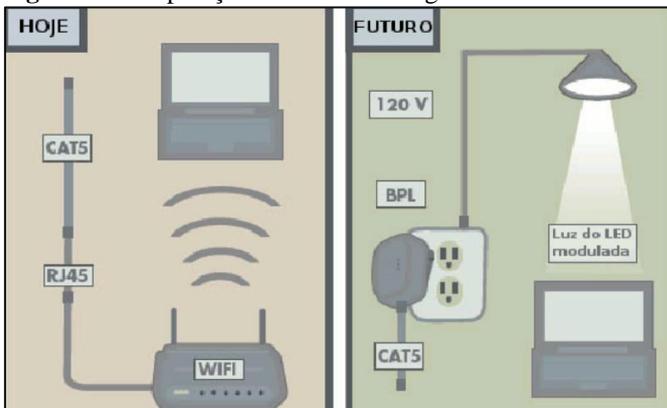


Fonte: Coelho Junior (2016).

Dentre as dificuldades de um sistema VLC está o uplink, que diz respeito ao enlace de subida. Embora uma luminária de LED no teto em cima de um notebook não necessite de alinhamento para o enlace de descida – downlink, será necessário alinhar o transceptor no notebook com o transmissor da luminária para o enlace de subida – uplink. Para correção desse problema, uma saída seria o uso de infravermelho para o link de subida (COELHO JUNIOR, 2016).

Na figura 8, no quadro esquerdo, está a representação de uma rede sem fio com tecnologia Wi-Fi, e no quadro direito, da tecnologia Li-Fi.

Figura 8 -Comparação entre as tecnologias de acesso à rede sem fio Wi-Fi x Li-Fi.



Fonte: Coelho Junior (2016).

Os dados transmitidos primeiramente são convertidos, através de codificação, em código binário e posteriormente são convertidos em sinais luminosos que serão emitidos pelo transmissor (ALVES, 2019). De acordo com Borah et al. (2012), a transmissão de dados através da luz apresenta alta velocidade e maior disponibilidade na faixa de espectro de frequência, não sofre interferência de outro sistema de comunicação, tem possibilidade de direcionamento e por não passar através da parede apresenta um nível de segurança bastante elevado, além de consumir menos energia do que dispositivos que utilizam radiofrequência para transferir dados.

Uma vez emitido, o fotodiodo irá receber o sinal luminoso no receptor e em seguida, no computador destino acontece o processo inverso à modulação para recuperar os dados do sinal

de luz recebido, esse processo é dividido em quatro módulos: o primeiro é o módulo de conversão de dados que converte dados em binário para ser representado como sinal digital e assim permitir a criptografia antes da conversão; o segundo é o módulo transmissor que produz o on e off dos LEDs; o terceiro é o módulo receptor que através de um fotodiodo detecta o on e off dos LEDs, também captura e gera a sequência binária do sinal recebido. O quarto é o módulo de interpretação responsável por descriptografar os dados para a sua forma original (ALVES, 2019).

A composição do transmissor é o LED branco, podendo ser o LED RGB ou o LED azul dotado de uma camada de fósforo. O LED RGB requer um controle de realimentação, isto é, em malha fechada, em razão da variação da cor de temperatura. É preciso uma intensidade de corrente para cada cor básica do LED RGB para produzir a cor branca. Por sua simplicidade de uso, o LED azul é o mais usado na iluminação, entretanto o fósforo resulta em uma transmissão de dados mais lenta (COELHO JUNIOR, 2016).

Segundo Alves (2019), para ser utilizada como Li-Fi, é necessário que um microchip seja instalado na lâmpada LED. O transmissor converte dados digitais em luz e envia a variação de sinal para o LED, ele modula os dados de entrada e os transmite. O LED é composto por invólucro, bulbo, placa de circuito impresso e amplificador de potência. A placa de circuito impresso administra as funções da lâmpada e controla os sinais elétricos, enquanto o amplificador de potência auxilia na produção de frequências de rádio favorecendo o campo elétrico na lâmpada. Através de um fotodiodo, que pode ser composto por silício, o receptor realiza a conversão da luz de entrada em corrente elétrica. Em seguida, a eletrônica do receptor converte a corrente em tensão para amplificar e fazer a comparação com o nível de tensão previsto para cada símbolo.

2.7 Principais vantagens e desvantagens

Dentre as vantagens da utilização do Li-Fi está o tamanho do espectro da luz visível que é 10.000 vezes maior do que o da radiofrequência, além disso a velocidade de conexão não é afetada com o aumento de usuários da rede, fato que diverge do Wi-Fi que diminui a velocidade à medida que aumenta o número de usuários; outra vantagem é a infraestrutura de iluminação já implantada nos locais, sendo necessário apenas trocar as lâmpadas atuais por LEDs Li-Fi; como a luz não atravessa paredes, os dados não podem ser interceptados, isso torna o Li-Fi um meio mais seguro do que o Wi-Fi para transmissão de dados (ALVES, 2019).

Embora inovador, uma desvantagem no uso do Li-Fi é a distância que se resume a poucos metros entre usuário e fonte de luz, quanto maior a distância maior a possibilidade de

um objeto entre eles causar uma interrupção na comunicação de dados. Diferentes luzes no ambiente, como a luz solar e de lâmpadas fluorescente e incandescentes, podem ocasionar ruídos no receptor e com isso também impedir a fluidez da comunicação, provocando uma saturação do fotodetector (CONCEIÇÃO, 2015).

A tecnologia Li-Fi pode ser usada em áreas hospitalares e em aviões onde não é permitido o uso de radiofrequência em razão da radiação e interferência em equipamentos; petroquímicas também não permitem o uso de radiofrequência por causa da possibilidade de uma antena gerar faíscas, o que torna o Li-Fi uma solução para essas restrições (ALVES, 2019). Dessa forma, segundo CONCEIÇÃO (2015), os LEDs seriam utilizados na iluminação ao mesmo tempo que transmitiriam dados, extinguindo a utilização de ondas de rádio nesses ambientes. Além disso poderia ser utilizado debaixo d'água, já que em curtas distâncias atingiria uma velocidade de centenas de Mbps até 100 metros, no espectro azul e verde.

De acordo com Conceição (2015), por não atravessar paredes, o sinal de GPS não funciona adequadamente em ambiente internos, portanto, as lâmpadas com a tecnologia Li-Fi desses locais poderiam atuar como referência de posição para transmitir informação sobre localização, o que seria bastante útil para deficientes visuais em ambientes extensos como shoppings, hospitais e metrô.

Os faróis e luzes traseiras dos veículos viabilizam a comunicação de dados entre eles alertando condutores sobre a proximidade de outros veículos e dessa forma evitando acidentes. Lâmpadas instaladas nas cidades bem como painéis e outdoors de LED, possibilitam a transmissão de dados para celulares dando origem a um novo tipo de rede de telefonia (ALVES, 2019).

A tecnologia Li-Fi também pode ser uma aliada da “Internet das Coisas”. Como exemplo, uma lâmpada LED Li-Fi dentro geladeira, pode alertar sobre o prazo de vencimento dos alimentos e avisar se determinado produto está prestes a acabar (CONCEIÇÃO, 2015).

Segundo Alves (2019), pontos de acesso Li-Fi podem detectar a variação de cor na reflexão da luz em plantas, o que possibilita o monitoramento de pragas em plantações. Diversas aplicações espaciais e militares seriam factíveis a partir da tecnologia Li-Fi, uma vez que a luz está presente por toda parte, viabilizando sua instalação onde não se pode utilizar Wi-Fi e demais equipamentos que utilizam radiofrequência.

3 Considerações Finais

Em decorrência do aumento da demanda por serviços que necessitam de conexão com Internet associado ao desenvolvimento da tecnologia Li-Fi, é possível que dentro de alguns

anos as lâmpadas atuais sejam substituídas por lâmpadas de LED com a tecnologia Li-Fi para transmitir e receber dados, complementando sistemas de comunicação, como Wi-Fi amplamente utilizado atualmente. Além disso, o espectro da radiofrequência apresenta desvantagens em relação a velocidade e largura de banda, lacuna que a tecnologia Li-Fi pode preencher, já que o espectro da luz visível é dez mil vezes maior do que o espectro da radiofrequência. A tecnologia Li-Fi é apontada como uma solução viável para situações em que o Wi-Fi é impossibilitado de operar, portanto investir em seu desenvolvimento e divulgação é essencial para que em breve ela possa ser implantada em todos os possíveis locais que tenham uma lâmpada que além de iluminar também poderá conectar dispositivos para comunicação de dados.

4 REFERÊNCIAS

ALVES, M. **Abordagem teórica da tecnologia Li-Fi - Light Fidelity**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense. Niterói Rio de Janeiro, 2019.

ARGAWAL, A.; SAINI, G. SNR Analysis for Visible Light Communication Systems. **International Journal of Engineering Research & Technology**, India, v. 3, n. 10, out. 2014. Disponível em: <https://www.ijert.org/research/snr-analysis-for-visible-light-communication-systems-IJERTV3IS100435.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

BONINI, L. **Estudo e Desenvolvimento de um Sistema de Comunicação via Luz Visível para Transmissão de Dados via Microcontroladores**. 2018. 74p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

BAY, E.; BLUNING, P. H. **Fundamentos de redes de computadores**. Santa Catarina: UNIASSELVI, 2016. 215p.

BORAH, D. et al. A review of communication-oriented optical wireless systems. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, **28 p.**, 2012.

CHAKRABORTY, A.; MONDAL, S.; DUTTA, T.; NATH, A. Latest advancement in Light Fidelity (Li-Fi) Technology. **International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies**, India, v. 5, n. 12, dec. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322616897_Latest_advancement_in_Light_Fidelity_Li-Fi_Technology. Acesso em: 20 abr. 2021.

COELHO JUNIOR, H.; LÓPEZ-BARBERO, A. P.; RIBEIRO, R. M. Desenvolvimento de Tecnologia VLC para o Provimento de Comunicação. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, Petrópolis, v. 7, n. 2, p. 39-49, 2012.

CONCEIÇÃO, M. **Comunicação por Luz Visível**. 2015. 50p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

FLICKENGER, Rob. **Redes sem fio no Mundo em Desenvolvimento**. Um guia prático para o planejamento e a construção de uma infraestrutura de telecomunicações. Washington: Hacker Friendly LLC, 2008. 397p.

GONZALES, G. El legado tecnológico de la Segunda Guerra Mundial. **Prisma Tecnológico**, Panamá, v. 9, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.33412/pri.v9.1.2067>. Acesso em: 19 abr. 2021.

KARUNATILAKA, D.; ZAFAR, F.; KALAVALLY, V.; PARTHIBAN, R. LED Based Indoor Visible Light Communications: Stateofthe Art. **IEEE Communications Surveys&Tutorials**. [S. l.] v. 17, n. 3,2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277659619_LED_Based_Indoor_Visible_Light_Communications_State_of_the_Art. Acesso em: 20 abr. 2021.

LATHI, B. P.; DING, Z. **Sistemas de Comunicações Analógicos e Digitais Modernos**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 862p.

MARÉ, R. **Proposta e Avaliação de um Sistema Complementar de Posicionamento Baseado em Comunicação por Luz Visível Aplicado a Sistemas Inteligentes Transporte**. 2018. 175P. Tese (Doutorado) – EscolaPolitécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

MEDIUM, 2018. **Como o Sinal Wi-Fi é Propagado na Natureza?** Disponível em: <https://medium.com/ubntbr/como-o-sinal-wifi-%C3%A9-propagado-na-natureza-d87daef39575>. Acesso em: 17 abr. 2021.

NOORBIR; MALHOTRA, R.; SINGLA, K. Li-Fi Technology - A Future Communication. **International Research Journal of Engineering and Technology**, Índia, v. 3, n. 11 nov. 2016. Disponível em: <https://www.irjet.net/archives/V3/i11/IRJET-V3I1120.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2021.

PAMPANELLI, G. A. **A Evolução do Telefone e uma Nova Forma de Sociabilidade: O Flash Mob**. Disponível em: <http://www.razonypalabra.org.mx/anteriores/n41/gazevedo.html>. Acesso em: 21 abr. 2021.

PERLES, J. B. Comunicação: conceitos, fundamentos e história. **Biblioteca On-line de Ciências da Comunicação – BOCC**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://www.bocc.ubi.pt/pag/perles-joao-comunicacao-conceitos-fundamentos-historia.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

UNICAMP, [s. d.]. **Hedy Lamarr Estrela de Hollywood e Mãe do Wi-Fi**. Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~apmat/hedy-lamarr>. Acesso em: 21 abr. 2021.