



The advantages of the Li-Fi application, as an alternative to improve connectivity in areas with limited access to the Internet, compared to the Wi-Fi system

Thiago F. Dantas Tavares¹, Manoel Henrique Reis Nascimento², Jorge de Almeida Brito Junior³, Francisco A. P. Januário⁴

¹Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica (FUCAPI). Coordenação de Graduação em Engenharia de Telecomunicações, Manaus – AM – Brasil

^{2,3}Departamento de Pesquisa, Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM). Av. Joaquim Nabuco, Centro. Manaus-AM.

⁴Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Av. General Rodrigo Octávio. Manaus-AM.

Email: t.felipe_dantas@hotmail.com, hreys@itegam.org.br, jorge.brito@itegam.org.br, franciscojanuario@ufam.edu.br

ABSTRACT

Received: July 29th, 2018.

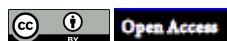
Accepted: August 15th, 2018.

Published: September 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



This article describes the application of Light Fidelity (Li-Fi) as an alternative to connectivity problems in areas where the quality of the Internet signal in relation to the Wireless Fidelity (Wi-Fi) system is limited or highly complex to data access. Li-Fi is a Visible Light Communication (VLC) technology, which performs wireless data transmission through LEDs. This technology applies a high frequency modulation, this way varying the luminous intensity, being imperceptible to the human eyes. This way, this way, the use of Li-fi widens the access area, but mainly, increases the speed and bandwidth. The best alternative for situations where is difficult or impracticable of Wi-Fi internet signal.

Keywords: Li-Fi, Wi-Fi, Conectividade, VLC.

As vantagens da aplicação da Li-Fi, como alternativa para melhoria de conectividade em áreas com limitação ao acesso à internet, em relação ao sistema Wi-Fi

RESUMO

Este artigo descreve a aplicação da Light Fidelity (Li-Fi) como alternativa para problemas de conectividade em áreas onde a qualidade do sinal de internet em relação ao sistema Wireless Fidelity (Wi-Fi) é limitada ou de alta complexidade ao acesso de dados. A Li-Fi é uma tecnologia Visible Light Communication (VLC), que realiza a transmissão de dados sem fio através de Diodos Emissores de Luz (LED's). Essa tecnologia aplica uma modulação de alta frequência, desta forma variando a intensidade luminosa, sendo imperceptível aos olhos humanos. Sendo assim, o uso da Li-fi amplia a área de acesso, mas principalmente, aumenta a velocidade e largura de banda. Uma melhor alternativa para situações onde há dificuldade ou inviabilidade de sinal de internet Wi-Fi.

Palavras-Chaves: Li-Fi, Wi-Fi, Connectivity, VLC.

I INTRODUÇÃO

Atualmente a comunicação por meio de rede de dados sem fio tem se tornado imprescindível para realização das atividades diárias das pessoas quer seja no ambiente de trabalho ou no

âmbito do entretenimento e relações interpessoais, tais como redes sociais.

A popularização do uso da *Wi-Fi*, e, conseqüentemente, o crescimento exponencial da demanda de dados nas últimas décadas em função do crescente aumento do número de

dispositivos conectados, acaba sobrecarregando o espectro da Radio Freqüência (RF), causando interferência nas comunicações.

Considerando que estes não sejam os únicos problemas que limitam o uso da *Wi-Fi*, a busca por uma tecnologia capaz de eliminar tais obstáculos, tem sido o grande desafio de muitos cientistas. Em 2011, o professor da Universidade de Edimburgo, na Escócia, alemão PhD Harald Haas, inventou a *Li-Fi* e regulamentado pela **IEEE 802.15.7** [1], técnica que consiste na transmissão dados pela luz, utilizando-se lâmpadas de *LED* [2].

A descoberta do professor Haas já é uma realidade aceita pelo mercado internacional. Um exemplo disso e que em um dos segmentos da Philips, a Philips *Lighting* anunciou em 19 de março de 2018 novas luminárias, utilizando *Li-Fi* como tecnologia para atingir até 30 Mbps sem comprometer a iluminação [3].

Desta forma, este artigo tem o objetivo de descrever as vantagens da aplicação da *Li-Fi* como alternativa para melhoria de conectividade em áreas com dificuldade de acesso à internet, em relação ao sistema *Wi-Fi*. Para tanto, estará organizado da seguinte forma: a seção 2 irá apresentar a contextualização do tema, demonstrando tanto a relevância do assunto quanto sua aplicabilidade nas esferas acadêmica e social. A seção 3 irá descrever o funcionamento da *Li-Fi*. Já a seção 4 discorrerá sobre a aplicação da *Li-Fi* em áreas peculiares onde o *Wi-Fi* apresenta possível inviabilidade ou não atua. Por fim, serão apresentadas as conclusões do autor na seção 5, seguidas das referências bibliográficas, seção 6.

II CONTEXTUALIZAÇÃO

Não seria possível iniciar a contextualização sobre o uso da *Li-Fi* sem antes mencionar a questão da exclusão digital. Este termo começou a ser utilizado por volta de 1995 com a publicação do artigo de Jonathan Weber e Amy Harmon no jornal Los Angeles Times. Sendo usado mais tarde pelo presidente dos EUA Bill Clinton e seu vice em discurso em 1996, afirmando que a exclusão digital causa divisões sociais. Segundo a Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico OCDE [4], a exclusão digital refere-se à distância entre indivíduos, famílias, empresas e regiões geográficas em diferentes níveis socioeconômicos com respeito, simultaneamente, às suas oportunidades de acesso às tecnologias de informação e comunicação (TIC's) e o uso da Internet para uma ampla variedade de ações e atividades [5].

A exclusão digital torna-se ainda mais danosa quando impede o desenvolvimento econômico, cultural e social de uma determinada população. Vários motivos levam a este isolamento digital, entre eles destacam-se o alto custo para distribuição do sinal via rádio freqüência e o isolamento geográfico.

O investimento para estruturar uma cidade com rede web é alto e grande parte da população de interiores vive em economia de subsistência, não possuindo, portanto, condições financeiras para arcar com os custos do serviço de internet [5].

Inicialmente, para que seja possível o funcionamento da internet via rádio, é necessária a instalação de uma antena na residência, colocada de maneira mais precisa, para que fique perfeitamente alinhada à torre, ou seja, sem obstáculos. Esta antena receberá o sinal emitido pela torre e, por meio de um cabo, e o transportará ao modem. Esse aparelho é conectado à placa de rede do computador, que permite a conexão com a internet, conforme demonstra figura 1.



Figura 1: Adaptado do texto Como funciona a internet via rádio?
Fonte: [6].

O sinal da antena emissora 1 para a casa receptora 1 chega sem obstáculo, diferente da casa receptora 4, afetada pela interferência por obstáculo, pois o sinal não faz curva por meio do canal de comunicação, não sobe morro, passa diretamente pelo obstáculo, explicando então a perda de qualidade no serviço quando mal instalado. Uma solução seria refletir uma parte do sinal de rádio pelo prédio numero 6, podendo ser utilizada para se alcançar pontos onde não se consegue chegar diretamente, no caso casa 4 e 5. No entanto, as reflexões causam atenuações em algumas faixas de freqüência (e essas atenuações são totalmente imprevisíveis), sendo assim, o protocolo utilizado deve ser capaz de lidar com a perda causada por essas atenuações. Se o prédio 6 não refletir o sinal para as casas ao lado, este vai chegar com uma péssima qualidade [6].

A explicação acima remete à ideia de que para haja a recepção do sinal de internet em qualquer lugar quer seja num grande centro urbano ou numa região rural, é imprescindível que haja uma infraestrutura adequada, livre de obstáculos. Isto demanda custos, o que muitas vezes inviabiliza o acesso à internet em comunidades mais carentes.

Os custos não são o único limitador do uso da *Wi-Fi*, tendo em vista que outro grande problema é o número exponencial de dispositivos conectados, que acaba por sobrecarregar a largura de banda, comprometendo a velocidade e qualidade de navegação.

Neste sentido, o uso da tecnologia da *Li-Fi*, descoberta pelo professor Haas, se implementada com sucesso, representará o avanço a passos largos em direção à ampliação da conectividade pelo mundo, independentemente da distância geográfica, estando condicionada tão somente à existência de uma lâmpada de *LED*. Só para exemplificar, em estudos feitos em laboratório, a velocidade do *Li-Fi* chegou a 224 Gigabites por segundo. Em termos práticos, isso significa que se conseguiria baixar 25,1 Gbps antes de completar a frase “preciso instalar um sistema de *Li-Fi* em casa” [7].

Com essa tecnologia, todo equipamento de iluminação se candidata como um possível ponto de acesso de dados através do espectro de luz visível, utilizando lâmpadas *LED's Li-Fi*, adaptadas com um pequeno microchip [8].

É dentro deste contexto desafiador, onde existem inúmeras barreiras a serem superadas que o desenvolvimento de uma tecnologia capaz de minimizar custos e tornar mais acessível o uso da internet, proporcionando uma melhora no nível de conectividade que surgiu e está sendo paulatinamente estudada a *Li-Fi*, cuja principal promessa é a redução dos níveis de exclusão tecnológica, além de melhoria e/ou ampliação do sinal de internet.

III FUNDAMENTOS DA LI-FI

A proposta de utilizar a luz como canal de comunicação vem de dois séculos passados. A primeira com o físico britânico *John Tynall* em 1870 que provou, diferentemente, do que se acreditava, que a luz poderia sim, fazer curvas; a segunda com o físico indiano *Narinder S. Kapany* em 1952, com base nos estudos de *Tynall*, criou a Fibra Óptica [9]. De lá até os tempos atuais a tecnologia se aprimorou.

Ao desenvolver essa tecnologia, a proposta do professor PhD Haas, foi o uso da luz visível para transmissão de dados (VLC), conhecida como *Li-Fi*. Sua proposta foi a conexão à internet por meio dos impulsos da luz (LED), imperceptíveis aos olhos humanos, tendo a Fibra Óptica como canal de transmissão.

Atualmente essa tecnologia tornou-se imprescindível devido à difusão do uso da Internet em qualquer lugar ou qualquer coisa, este último dando origem ao termo Internet nas Coisas (IoT) [10].

III.1 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA LI-FI

O LED é o principal item para o funcionamento desta tecnologia, pois sua propriedade é a alta variação da intensidade da luz (imperceptíveis aos olhos). Dessa forma temos finitas combinações binárias, onde o nível lógico “0” representa o LED apagado e nível lógico “1” ligado (Figura 2).

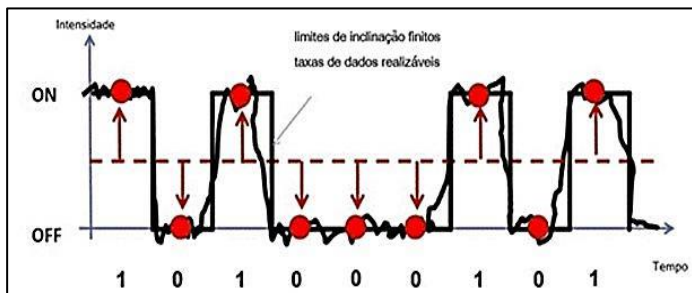


Figura 2: Oscilação da Intensidade da Luz LED (*On-Off Keying* – OOK).

Fonte: [11].

Sendo assim o LED ganha mais notoriedade, pois além de ser um agente sustentável, ou seja, que gera baixo consumo de energia vem se tornando popular. Podendo ser encontrado facilmente tanto em pequenas residências quanto em infraestruturas bem elaboradas.

A *Li-Fi* é uma versão óptica mais rápida e de menor custo que o *Wi-Fi*. Ela tem como base a comunicação via VLC para o tráfego de dados, utilizando a luz visível entre 400 THz (780nm) e 800 THz (375nm) como portadora óptica para transmissão de dados, simultaneamente com sua função primeira, que é iluminar. Tomando como base na Figura 3, é possível afirmar que em função dos pulsos rápidos de luz a transmissão de dados sem fio chega a ser até 10.000 vezes maior que a de dispositivos que utilizam RF [8].

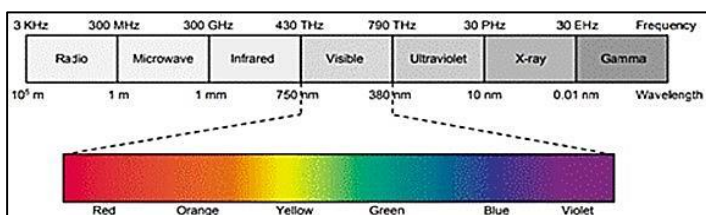


Figura 3: Espectro Eletromagnético.

Fonte: [12].

III.2 LÂMPADAS LED LI-FI

Para possibilitar o uso da tecnologia *Li-Fi* é necessário a substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas de LED *Li-Fi*, adaptadas com microchip para integrar a eletrônica e modular os dados através de pequenas mudanças na amplitude criando pontos de comunicação e assim o acesso a internet.

A arquitetura da *Li-Fi* é simplificada. Onde tem um LED numa extremidade, e por outro lado foto detector (sensor de luz). A função do detector é em registrar “1” binário quando o LED está ligado e “0” binário quando desligado. Pode-se construir um código ou mensagem, piscando inúmeras vezes o LED ou usar matriz de LEDs de talvez cores diferentes, para obter taxas de dados na faixa de centenas de megabits por segundo, valores superiores a 100 Mbps. Isto com ajuda de diferentes técnicas de multiplexação.



Figura 4: Lâmpada LED *Li-Fi*.

Fonte: [13].

III.2.1 LUMINÁRIAS COMPATÍVEIS COM LI-FI

Uma das grandes vantagens do *Li-Fi* é a possibilidade de integração com o sistema de iluminação e todos os controles sem comprometer o funcionamento ou qualidade da luz. As luminárias Philips com tecnologia *Li-Fi* têm um modem de baixo perfil integrado com conectividade *plug-and-play*. Este uso permitiu a redução no custo de produção tornando algumas das luminárias mais populares incluindo a Philips *PowerBalance gen2* e o Philips *LuxSpacedownlight*. O *PowerBalance gen2* (Figura 5) da Philips está habilitado para o *Li-Fi* é ideal para escritórios e escolas devido à sua ampla área de cobertura, enquanto o *LuxSpacedownlight* é mais adequado para criação de zonas de *Li-Fi* seguras e discretas, perfeitas para hospitais e indústria 4.0 [14].

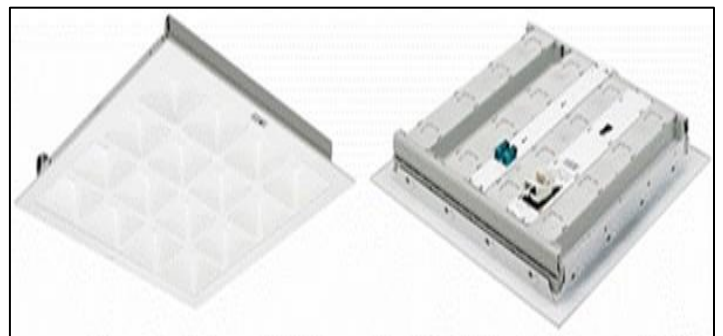


Figura 5: Luminária *PowerBalance gen2*.

Fonte: Imagem adaptada do sitio da Philips (2018).

III.3 TRANSMISSÃO DE DADOS UTILIZANDO *LI-FI*

Para possibilitar a transmissão de dados utilizando-se a tecnologia *Li-Fi* são necessários um *LED* de alto brilho e um Fotodiodo de silício com boa resposta à luz visível. O primeiro atuando como fonte de transmissão e o segundo como elemento de recepção. Dessa forma, os *LED*'s ligados à rede criam finitas combinações de 1s e 0s. Gerando um novo fluxo de dados através da codificação na luz variando a taxa de cintilação [13].

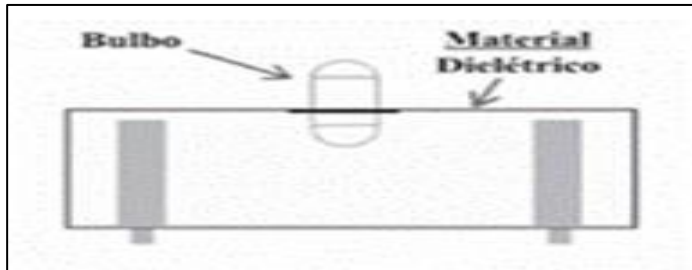


Figura 6: Submontagem da Lâmpada
Fonte: [13].

A lâmpada *LED* adaptada com o chip atuando no processamento de sinais, ligando e desligando o sistema, criando uma alta variação de frequência, alternando sua intensidade luminosa. Essas lâmpadas fazem isso milhões de vezes por segundo, quando comparado com as lâmpadas convencionais de 120 Hertz (liga e desliga 120 vezes por segundo). Este intermitente *on-off*, cria uma cadeia de dados, passando pelo Processamento Digital de Sinais (*Digital Signal Processor – DSP*). Conforme Figura 7.

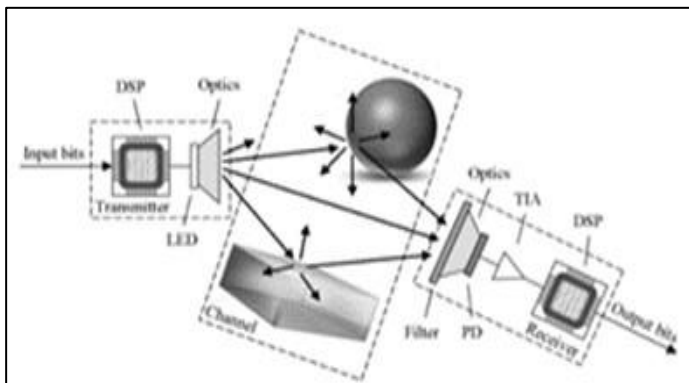


Figura 7: Funcionamento da Comunicação da *Li-Fi*.
Fonte: [11].

Esquemático do sistema, aplicado no cotidiano (Figura 8).

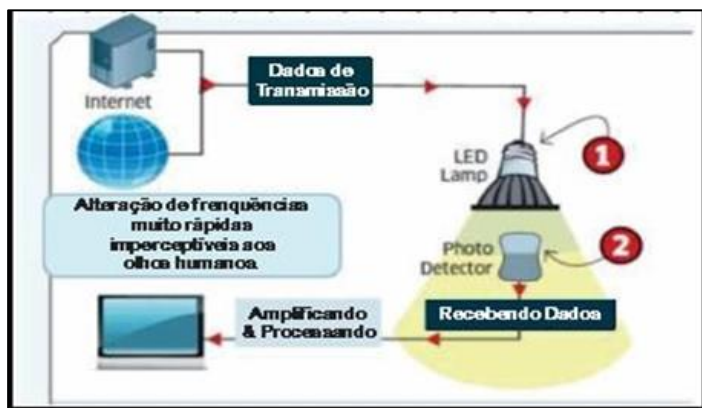


Figura 8: Resenha do sistema *Li-Fi* em funcionamento.
Fonte: [11].

III.4 EQUIVALÊNCIA ENTRE O *LI-FI* X *WI-FI*

Quando se fala em *Wireless*, automaticamente se pensa em *Wi-Fi*, muito popular nos dias atuais, juntamente com a tecnologia do sistema *Bluetooth* com propostas de rápidas conexões. A *Li-Fi* adquiriu este nome em função da semelhança com *Wi-Fi*. Entretanto, difere desta por utilizar a luz em vez de rádio. Na verdade, tem como proposta amenizar o uso do espectro da RF, que por sua vez está a cada dia mais sobrecarregada, consequentemente com problemas de interferência, devido ao grande volume que o *Wi-Fi* carrega quando acessado. Tendo em vista que a luz possibilita uma gama 10.000 vezes maior (largura de banda) que a RF, suas diferentes tonalidades permitem que essa comunicação seja feita com taxas de transferência bem maiores.

Demonstrado na Tabela 1 as diferentes tecnologias *Wireless* e suas respectivas velocidades.

Tabela 1: Diferentes Tecnologias de Transmissão.

Tecnologia	Velocidade	Densidade de Dados
Wireless (Atualmente)		
Wi-Fi-IEEE 802.11n	150 Mbps	*
Bluetooth	3 Mbps	*
IRDA	4 Mbps	***
Wireless (Perspectiva)		
WiGig	2Gbps	**
Giga-IR	1Gbps	***
Li-Fi	>1Gbps	****

Fonte: [13].

IV APLICAÇÃO E VANTAGENS DO USO DA *LI-FI*

Li-Fi apresenta uma farta gama de aplicações possíveis, variando desde acesso à Internet com alta velocidade através de lâmpadas de *LED*, até a comunicação com estações espaciais. Claramente, as aplicações da *VLC* são as mais diversas e trazem uma nova perspectiva para o que é considerado computação ubíqua e pervasiva. Nesta seção, serão abordadas as potencialidades da comunicação por luz visível, assim como aplicações desta tecnologia que vêm sendo estudadas [15].

IV.1 APLICAÇÕES

Existem inúmeras aplicações desta tecnologia, desde o acesso público à Internet, passando por lâmpadas de rua, até carros pilotados automaticamente, que se comunicam através de seus faróis [13]. Com a padronização do *LED* como fonte luminosa, investidores apostam no sistema *VLC*, criando novas oportunidades e tecnologias. Em contrapartida, vale ressaltar que em paralelo a essa nova tendência *high tech*, há diversos estudos que buscam aumentar o desempenho do *Wi-Fi* em redes *wireless*. Desta forma outros apontam em desenvolvimento híbrido, em uma arquitetura de rede integrada entre *Wi-Fi* e *VLC*. Já existem frutos dessas pesquisas, o *PLi-Fi* é um exemplo disto (Hu et al, 2016), que através do uso de *PLC* (*Power Line Communication*), provou que é possível a fusão de ambas aplicações, gerando assim sistemas híbridos de tráfego de dados (Figura 9). Em outras perspectivas, existe a integração de todas no sistema *IOT*, principalmente no que se diz respeito ao 5G, próxima tecnologia celular. Dessa forma criando um elo digital complexo.

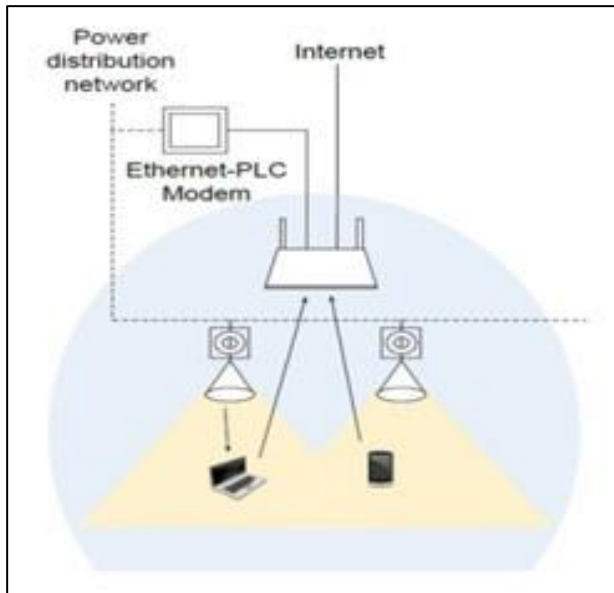


Figura 9: Sistemas Híbridos aplicado no cotidiano.
Fonte: [16].

IV.2 VANTAGENS

Objetivamente o uso da *Li-Fi* proporciona diversas vantagens, dentre quais a segurança, que está relacionada ao alcance da luz que delimita a internet no espaço, fazendo com que a conectividade se concentre no ambiente, desta forma impedindo a ação de *hacker's*. O fato da técnica não utilizar a Rádio Frequência permite seu uso próximo a equipamentos que sofrem interferência das ondas de rádio, sendo, assim, extremamente útil nos ambientes aeroportuários e hospitalares. Entretanto, é no que se refere à potência que se identifica uma das mais relevantes aplicações da *Li-Fi*, uma vez que aumenta a eficácia na transmissão de dados melhorando com isso a conectividade e estabilidade do sinal. Muitas vezes têm-se dificuldade de conexão em áreas totalmente urbanas. Embora os motivos para o problema de conexão sejam diversos, a solução é a mesma: uso da *Li-Fi*.

Inúmeros equipamentos são suscetíveis a interferência da RF. Neste sentido, a aplicação da *Li-Fi* é capaz de substituir ao *Wi-Fi* possibilitando o uso da internet sem risco de danos aos equipamentos, a exemplo tem-se:

- **Áreas Hospitalares:** Devido aos problemas de interferência que a RF causa em pequenos e grandes dispositivos hospitalares, bloqueando sinais de monitoramento, não é permitido o uso de *Wireless* em sala de cirurgia. A solução vem com evolução do *IoT* que busca superar tal barreira. Com a funcionalidade do *Li-Fi*, pode-se acessar a internet e controlar equipamentos médicos. Trazendo benefícios para procedimentos automatizados e cirurgias robóticas.

- **Internet de baixo custo em aviões:** Algumas companhias disponibilizam acesso à rede de internet, o problema é o custo elevado e a baixa velocidade alcançada. Podendo haver problemas de conectividade com *Wi-Fi* e interferência no sistema de navegação dos pilotos. Neste cenário a *Li-Fi*, é capaz de transmitir dados, fornecendo link de qualidade e com alta velocidade.

- **Aplicação em Usinas:** Esses lugares são áreas sensíveis, necessitam de um sistema de dados específico, capaz de interligar de forma rápida, segura e simultânea vários usuários, possibilitando o monitoramento eficaz da temperatura do núcleo (usina nucleares) [13]. A RF representa um risco para diversas atividades, principalmente no manuseio de produtos químicos,

por esta razão a *Li-Fi* também pode ser usada em Usina de Petróleo.

- **Gestão de trânsito:** Para o setor automobilístico, o uso do VLC pode trazer funcionalidade, pois o sistema utiliza a luz de *LED* dos carros, na comunicação, melhorando assim o tráfego e reduzindo acidentes. Essa troca de dados pode se dar também nas vias de grande fluxo onde os ambientes são ricos em fonte de luz, considerando semáforos e postes de luz.

- **Industria 4.0:** Atualmente, o setor industriário tem experimentado as vantagens do avanço tecnológico, desta forma entrando na era "Industria 4.0". Como representante do futuro da quarta revolução industrial, evoluiu dos sistemas embarcados para o Sistema Físico Cibernético (CPS) [17]. Na prática este setor está vivenciando a experiência da fabricação por meio do uso da internet, integrando desta forma três tecnologias: o *IoT*, a *Li-Fi* e a *Smart Manufacturing 4.0*.

- **Sistemas Espaciais:** VLC também se destaca em grandes projetos espaciais devido superioridade das taxas de transmissão quando comparadas as tecnologias de Rádio conhecidas, exemplo dá *Lunar Laser Communication Demonstration*. A Nasa lançou, em 2013 uma espaçonave na missão denominada LADEE (*Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer*), com objetivos de coletar dados da lua. Acoplado à espaçonave, estava o LLST (*Lunar Lasercom Space Terminal*), um terminal responsável por enviar os dados coletados para a Terra, através de Comunicação Ótica sem fio. Taxas de transmissão de 622 Mbps foram alcançadas, 6 vezes maior quando comparada às tecnologias de rádio utilizadas até então [15].

Em suma, dada a alta taxa de transmissão de dados, a *Li-Fi* possui uma diversidade de aplicações, como já mencionado, e representa uma alternativa para resolver o problema de conectividade envolvendo o uso do espectro da Rádio Frequência. Desta forma abre um leque de vantagens sobre sua utilização uma vez que é capaz de fornecer soluções para inúmeros setores da economia mundial.

V CONCLUSÕES

O crescimento colossal do uso da comunicação sem fio por meio de Rádio Frequência nos últimos anos, tem tornado o sinal de *Wi-Fi* cada vez mais limitado em função do número de dispositivos conectados. Outro problema é a dificuldade de acesso que regiões mais isoladas enfrentam para obterem o sinal de internet, isso se deve ao fato de nessas áreas, normalmente, terem incidência maior de obstáculos naturais, além da dificuldade financeira para instalação da infraestrutura adequada ao uso desta tecnologia.

O estudo demonstrou que dentre os problemas das comunicações sem fio por RF, há alguns que se destacam por impactarem mais no desempenho da *Wi-Fi*, tais como: capacidade, eficiência, disponibilidade e segurança.

Para todas estas limitações a proposta do uso da *Li-Fi*, segundo seu idealizador, tem apresentado inúmeras vantagens por representar uma alternativa eficaz na solução dos problemas de conectividade em lugares onde o *Wi-Fi* apresenta possível inviabilidade ou não atuando, limitando o acesso à internet.

Ou seja, a tecnologia fornece 10.000 vezes o tamanho (Largura de Banda) do espectro da RF; No tocante à eficiência o uso das lâmpadas de LED em maior escala, além de diminuir o consumo energético promovem a redução na emissão de carbono; A luz, independentemente do isolamento está presente em qualquer ambiente, tornando com isso a tecnologia disponível a qualquer tempo e lugar; e, por fim, a segurança é

ampliada visto que a luz não atravessa paredes, portanto, os dados não podem ser interceptados e utilizados de forma indevida [8].

Este artigo possibilitou não somente o conhecimento da tecnologia que está em desenvolvimento, mas também como uma visão holística sobre o futuro da internet em termos de conectividade, eficiência, mas também que busca, sobretudo, a preservação do meio ambiente.

VI REFERÊNCIAS

- [1] Rajagopal, Sridhar; Roberts, Richard D.; Lim, Sang-Kyu. **Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support**. IEEE Communications Magazine. Março 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6163585/>. Acesso em: 10 de Set. de 2018.
- [2] Wats, Michael. **Entrevista em 31 de janeiro de 2012 com Haas, H.** The University of Edinburgh. Meet Li-Fi, the LED-based alternative to home Wi-Fi. Disponível em: <https://www.wired.co.uk/article/the-lightbulb-moment>. Acesso em: 10 de Set. de 2018.
- [3] Bull, Anna Kellen. **Philips anuncia lâmpadas de Li-Fi que transmite internet por meio da luz**. Revista TechTudo Informática. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2018/03/philips-anuncia-lampada-li-fi-que-transmite-internet-por-meio-da-luz.ghtml>. Acesso em 10 de Set. de 2018.
- [4] BRASIL, **Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico OCDE (2011)**, Disponível em: <http://portal.mec.gov.br>. Acesso em: 08 de Set. de 2018.
- [5] Simas, Danielle Costa de Souza e Lima, Jonathas Simas de. **Desafios da inclusão digital no interior do Amazonas e a internet como ferramenta de redução das desigualdades sociais e regional**. 2 Congresso Internacional de Direito e Contemporaneidade edição 2013. Universidade Federal de Santa Maria.
- [6] Mata, Amanda. **Como funciona a internet via rádio?** Texto publicado em 25 de Mar. de 2013. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/10234-como-funciona-a-internet-via-radio>. Acesso em 01 de Set. de 2018.
- [7] Germano, Felipe. **Conheça o Li-Fi, cem vezes mais rápido que o Wi-Fi**. Revista Super Interessante, publicado em 01 de Dez. de 2015. Disponível em: <https://super.abril.com.br/tecnologia/conheca-o-li-fi-cem-vezes-mais-rapido-que-o-wi-fi/>. Acesso em: 02 de Set. de 2018.
- [8] Carvalho, Pablo Amaral de; Pereira, Almir Gonçalves; Carvalho, Jaqueline Lindolores de Rezende. **Li-Fi (Light Fidelity): Uma luz na evolução das comunicações**. Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES/JF) Revista. Volume 29, p 136-157. Juiz de Fora/MG: 2015.
- [9] Savignano, Verônica. **Brazilian Materials Research Society SBPMat**, Posted on quinta 28 de junho de 2018. Da ideia à inovação: O fio de vidro que conectou o mundo. Disponível em: <https://www.sbpomat.org.br/pt/tag/narinder-singh-kapany>. Acesso em: 05 de Set. de 2018.
- [10] IEEE Computer Society, 2005. **Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs)**. Disponível em: http://www.ismlab.usf.edu/dcom/Ch8_802.15.1-2005.pdf. Acesso em: 11 de Set. de 2018.
- [11] Haas, Harald. **Li-Fi Future Mobile Applications by Light**. The University of Edinburgh. Apresentação em 10 de Dez. de 2013. Disponível em: <https://www.lifi-centre.com/technical-specifications/> Acesso em 05 de Set. de 2018.
- [12] Pathak, P.H.; Feng, X.; Hu, P.; Mohapatra, Prasant. **Visible light communication, networking and sensing: A survey, potencial and challenges**. Ieee communications surveys & tutorials. **Published in: IEEE Communications Surveys & Tutorials**, Volume: 17, **Issue: 4**, Fourthquarter, 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7239528/>. Acesso em 07 de Set. de 2018.
- [13] Sharma, Rahul R et al. **Li-Fi Technology Transmission of data through light**. **International Journal of Computer Technology & Applications**, Vol 5, 2014. Disponível em: <https://www.ijcta.com/documents/volumes/vol5issue1/ijcta2014050121.pdf>. Acesso em: 06 de Set. de 2018.
- [14] Signify Holding. **Wireless connectivity with no compromise on lighting**, 2018. Disponível em: <https://www.signify.com/global/innovation/lifi>. Acesso em: 11 de Set. de 2018.
- [15] Matheus, Luiz Eduardo Mendes; Vieira, Alex Borges. **Universidade Federal de Juiz de Fora/MG, 2017**. Comunicação por luz visível: Conceitos, aplicações e desafios. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320730282_Comunicacao_por_Luz_Visivel_Conceitos_Aplicacoes_e_Desafios; Acesso em: 09 de Set. de 2018.
- [16] Haas, Harald. **SPIE – The International Society for optics and photonics**. High-speed wireless networking using visible light. 19 April 2013, SPIE Newsroom. Disponível em: <http://www.spie.org/newsroom/4773-high-speed-wireless-networking-using-visible-light?pf=true>. Aceso em 05 de Set. de 2018.
- [17] Cheng, Guo-jian; Liu, Li-ting; Liu, Ye. **Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing**. IEEE 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7816745/>. Acesso em: 10 de Set. de 2018.
- [18] UNEST, **Sistema da Informação da. Inclusão e Exclusão digital no mundo**. Disponível em: <http://sistemadeinformacao.blogspot.com/2008/03/excluso-e-incluso-digital-no-mundo.html>. Acesso em: 01 Set. 2018.
- [19] Philips. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com/main/prof/indoor-luminaires/recessed/powerbalance/powerbalance-gen2#p-image-19>. Acesso em: 11 de Set. de 2018.