

DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA VLC PARA O PROVIMENTO DE COMUNICAÇÃO DE DADOS UTILIZANDO LUZ VISÍVEL

Helio Coelho Junior, Andres Pablo López-Barbero and Ricardo Marques Ribeiro

LACOP, Laboratório de Comunicações Ópticas, Universidade Federal Fluminense, Rua Passos Da Pátria, 156, Campus Praia Vermelha, Niterói, RJ, Brasil,

http://www.telecom.uff.br/pagina/laboratorios/com_opticas.htm

Keywords: Visible Light Communication, VLC, Smart Lighting, FSO.

Abstract. Este artigo apresenta a tecnologia conhecida como VLC, "*Visible Light Communication*", Comunicação usando luz visível, que faz parte do ramo de comunicação de dados conhecida como FSO, Free Space Optics, ou Óptica no Espaço Livre. Ela abrange a utilização da mesma luz de iluminação (ou mesmo de sinalização de trânsito, como a produzida por um semáforo) para transmissão de dados. Pode tratar-se de um ponto de acesso a rede proveniente da luz modulada das luminárias no teto ou mesmo dados fornecidos para motoristas e/ou carros pela sinalização de trânsito, por exemplo. Pode-se substituir pontos de acesso a rede baseados em RF (pontos de acesso sem fio WIFI, por exemplo) através do uso de múltiplos LEDs brancos de alto brilho: tal sistema pode prover iluminação e, ao mesmo tempo, comunicação de dados, resultando em economia de energia. São apresentadas também algumas outras aplicações menos óbvias da tecnologia.

1 INTRODUÇÃO

Os LEDs (diodos emissores de luz) evoluíram de forma acelerada nos últimos 40 anos. Enquanto o fluxo luminoso aumenta 30 vezes por década, o custo cai em 10 vezes. Essa é conhecida como Lei de Haitz [10]. Essa evolução, aliada à crescente necessidade de eficiência energética provocou o aparecimento de um mercado de iluminação de estado sólido, onde lâmpadas incandescentes e fluorescentes estão sendo substituídas por lâmpadas compostas por LEDs. Os LEDs podem ser modulados em altas frequências e tal modulação é imperceptível ao olho humano. A ubiquidade da rede elétrica e o baixo custo dos LEDs torna a ideia de transmissão de dados através deles muito atraente. A ideia de VLC foi concebida em 2003 na Universidade de Keio, no Japão pelos professores Massao Nagakawa e Shinichiro Haruyama [13]. Em determinadas situações poderá ser interessante o uso de portadoras ópticas em espaço livre para estabelecer conectividade, ao invés do uso de RF. Enquanto em RF temos cerca de 300Ghz disponíveis, na faixa do visível temos 300Thz. Porém, segundo (Collins,2010) [1] a princípio não existe a pretensão de substituir os padrões em RF existentes (como WIFI, Bluetooth, entre outros) mas que seu emprego seja principalmente em locais que não se deseje usar RF (hospitais e aviões, por exemplo). Outra possibilidade são as redes de curta distância (PAN, personal area networks) na interligação de dispositivos multimídia em taxas muito altas, sem o inconveniente de interferência ou degradação por compartilhamento do meio, como acontece em RF. Isso porque as células podem ser extremamente direcionais e além disso a luz visível não pode atravessar paredes. Segundo (WALEWSKI et al, 2010) [3], taxas de 513 Mbits/s foram obtidas numa laboratório na Alemanha, numa distância de 5 metros entre o transmissor e o receptor. A empresa coreana Samsung está fazendo estudos para inserir VLC nas suas telas LCD aproveitando a luz de fundo (backlight) para transmitir dados, de modo que o usuário possa fazer download de informações na tela, como endereços de sites na Internet ou dados sobre produtos sendo apresentados.

2 CARACTERÍSTICAS E COMPONENTES DE UM SISTEMA VLC

Na Figura 1 temos um sistema VLC típico, usando PLC (powerline communication), para transporte dos dados através da rede elétrica até as luminárias. Como vantagens do sistema podemos citar altas taxas, inerente segurança (pois a luz não deixa o ambiente), espectro não regulado, múltiplas células possíveis, não interferentes, com luminárias adequadas. As desvantagens são a necessidade de visada entre transmissor e receptor, luz ambiente intensa pode saturar o receptor, é preciso limitar a potência para evitar ofuscamento e o multi percurso devido a reflexão em objetos, pessoas e paredes. Na figura 2 podemos observar uma representação do acesso local sem fio usando a atual tecnologia de RF e o que se pretende no futuro com VLC.

Os componentes de um sistema VLC são basicamente o transmissor e o receptor. É interessante observar que uma das dificuldades em um sistema VLC é o *uplink*, ou o enlace de subida. Numa situação em que temos luminárias com LEDs no teto e um notebook sobre uma mesa, como na Figura 2, o *downlink*, o enlace de descida praticamente não necessita de alinhamento. Agora a situação do enlace de subida - o transceptor no notebook terá que alinhar seu transmissor com a luminária. As possíveis soluções incluem o uso de infravermelho para o link de subida, alinhamento ativo do transmissor e até mesmo enlace de subida em RF, que pode não ser de todo interessante quando se deseja uma solução totalmente óptica.

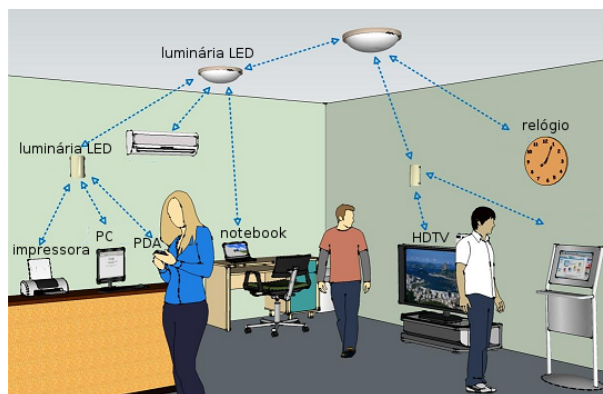


Figure 1: Cenário da tecnologia VLC

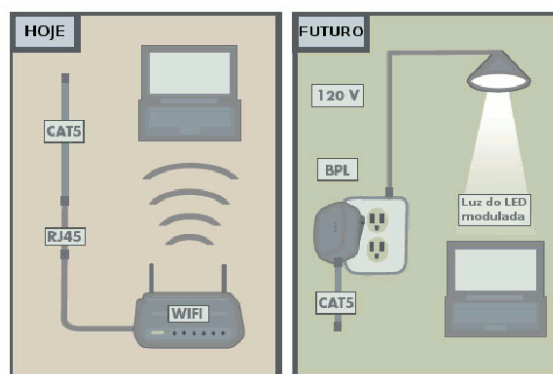


Figure 2: Comparação entre as tecnologias de acesso sem fio [UNIV. DE BOSTON, 2008]

2.1 O transmissor

O transmissor é composto de um LED branco, que pode ser um LED RGB (que possui as três componentes (vermelho, azul e verde) que combinadas produzem o branco ou então um LED azul encapsulado com uma camada de fósforo. O LED RGB demanda um controle mais complexo, mas há a possibilidade de modular três comprimentos de onda separadamente. No caso do LED RGB pode ser necessário um controle baseado em realimentação (malha fechada) devido a variação da cor com a temperatura do LED. Observe que são necessárias três intensidades distintas de corrente, uma em cada LED de cor básica, para produzir a cor branca. O LED azul com fósforo é comum em iluminação devido a simplicidade de seu uso. O fósforo porém torna o LED mais lento para transmissão de dados. Diversos experimentos tem sido conduzidos com filtros ópticos azuis melhorando em muito as taxas nos LEDs com fósforo (WALEWSKI et al, 2010) conforme apresentados em [1].

Na figura 3 temos um diagrama típico de um *driver* de LED em um sistema VLC. O uso de corrente de *BIAS* e de modulação separadas tornam mais fácil a operação do LED em sua região linear. Devido a capacitância dos LEDs, o uso de *buffer* de baixa impedância pode melhorar a constante de tempo do circuito.

2.2 O receptor

A luz é coletada por lentes e pode ser submetida a um filtro óptico. As lentes aumentam a área efetiva de captura para o FOV (*Field of View*) que é o campo de visão do detetor desejado. Os

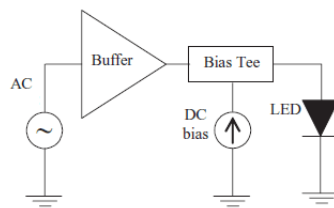


Figure 3: Circuito típico do transmissor [2]

fotodetetores podem ser PIN ou avalanche. Os fotodetetores avalanche tem a desvantagem de demandar tensões altas de operação e também custo elevado, porém são mais sensíveis. A área do detetor é crítica no projeto, pois quanto maior a área maior será a capacitância do detetor, o que terá impacto direto na banda passante. Trata-se de uma relação de compromisso velocidade versus área de captura do detetor. Equalização no receptor pode aumentar significativamente a banda passante. Em [5] uma taxa de dados de mais de 40Mb/s foi obtida com um LED não filtrado com banda de 3Mhz, mas isso aumentou a complexidade/custo do receptor. Tipicamente pode-se esperar uma taxa máxima na recepção em torno de 1Gbps. Na figura 4 temos um diagrama típico de um circuito de recepção com amplificador de transimpedância.

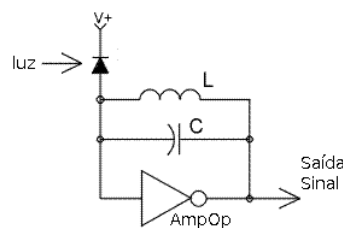


Figure 4: Circuito típico do receptor [2]

O circuito acima utiliza uma técnica utilizada em receptores de rádio para receber sinais fracos. Podemos observar que o resistor de retro-alimentação foi substituído por um indutor. Um indutor passa sinais DC sem afeta-los, porém oferece reatância a sinais AC. Quanto mais alta a frequência, mais alta a reatância. Sinal DC proveniente da luz ambiente não modulada irão provocar uma baixa conversão de tensão para corrente, ao passo que sinal de alta frequência modulado irá proporcionar uma alta conversão de tensão para corrente, melhorando sua detecção. Isso ajuda a minimizar o problema de saturação do detetor por outras fontes de luz que não a proveniente do sistema VLC. Além dos fotodetetores também existe a possibilidade de uso de sensores de imagem (CCD/CMOS) que podem simultaneamente adquirir imagens e transmitir dados. O princípio de comunicação com o sensor de imagem é que a câmera faz contínuas capturas de imagem de uma cena onde há um LED modulado e o receptor detecta esse sinal modulado, recebendo os bits. Obviamente as taxas vão depender muito da velocidade de captura do sensor. Mas dados podem ser enviados simultaneamente a pontos distintos do sensor, bastando haver diversos LEDs modulados na mesma cena capturada. Ou seja, ele poderá receber e demodular diversos fluxos de dados simultâneos. Na figura 5 observamos o envio de 4 fluxos simultâneos, que são diferenciados pela sequencia inicial no trem de pulsos.

Na figura 6 podemos observar um exemplo de uso de múltiplos LEDs sendo detectados por um sensor de imagem. São 64 LEDs (uma matriz 8 x 8) transmitindo simultaneamente em

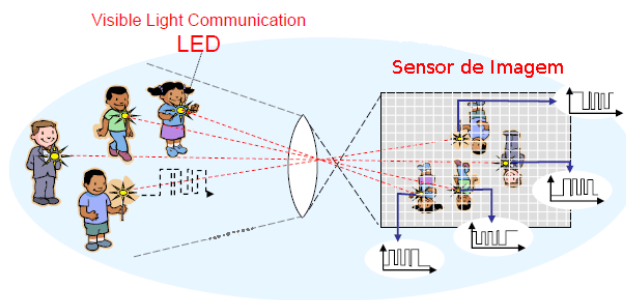


Figure 5: Múltiplos fluxos simultâneos [6]

um pixel diferente de um sensor de imagem de alta velocidade. O sistema foi desenvolvido na Universidade de Keio em conjunto com o laboratório da Sony em Kihara, ambos no Japão. Foi obtida uma taxa 50 vezes maior que a taxa de um LED único (o ganho teórico seria de 64 vezes, mas a implementação do próprio sistema não o permitiu.)

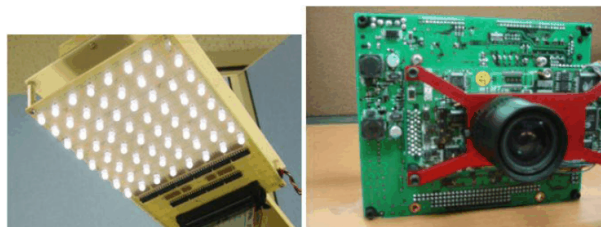


Figure 6: Múltiplos transmissores [7]

2.3 Estudo do canal

Num sistema VLC temos uma ou mais componentes diretas vindas da fonte de iluminação e componentes indiretas compostas pela reflexão nos objetos e paredes do ambiente. Na figura 7 temos uma distribuição típica de luminárias LED no teto [2].

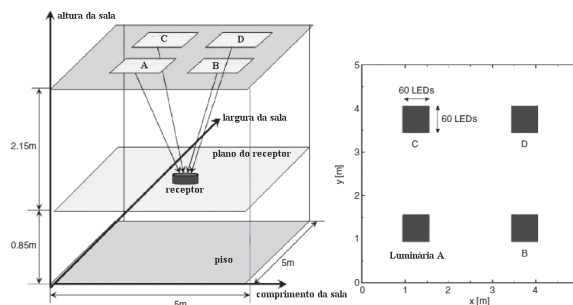


Figure 7: Distribuição típica de luminárias [2]

Em taxas acima de 100 Mbit/s o atraso relativo do sinal chegando de diferentes luminárias começa a ser relevante. Modulações como OFDM podem então ser interessantes [2]. A componente difusa, entretanto, é relativamente pequena comparada com a forte componente em visada direta provenientes das luminárias. Normalmente o requerimento de 200 a 500 lux para propósito de iluminação garantirá níveis muito altos de sinal, favorecendo a relação sinal-ruído. Uma distribuição SNR típica está representada na figura 8.

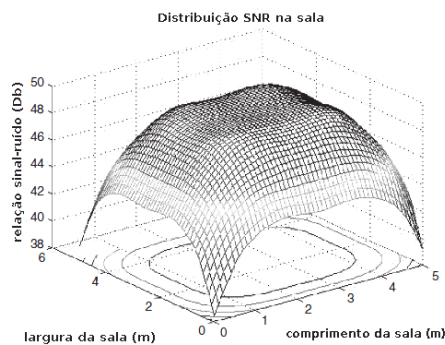


Figure 8: Relação sinal/ruído na sala [2]

2.4 Técnicas para obtenção de taxas elevadas

Segundo O'Brien [9], o uso de LEDs como transmissores, considerando os LEDs atuais disponíveis, nos dá uma margem de poucos MHz para os LEDs brancos (baseados em fósforo) e cerca de 10 MHz com LEDs brancos usando a parte azul do espectro (filtrando a emissão do fósforo). Temos também uma relação sinal ruído muito alta (maior que 50 dB) devido a proximidade do transmissor e do receptor. O caminho então para obtenção de altas taxas passa pelo uso de modulações complexas (como OFDM e DMT), o uso de equalização e o uso de múltiplos transmissores simultâneos (vide figura 6) [11]. Com uso de componentes de prateleira (LEDs e fotodetectors PIN), numa distância de 1.4 m e com 500 Lux de intensidade luminosa foi obtido uma taxa de 100 Mbit/s usando DMT com 31 sub-portadoras, cada uma usando modulação 16QAM. Esse trabalho foi desenvolvido pela Siemens, Universidade de Atenas, France Telecom, Apside e Heinrich Hertz Institute [12].

3 APLICAÇÕES

Algumas aplicações interessantes da tecnologia VLC são apresentadas a seguir.

3.1 Museu

Na figura 9, uma obra de arte é iluminada por LEDs e esses transmitem um código que identifica a mesma para o receptor que o visitante carrega. Um trecho de áudio é reproduzido nos fones de ouvido do visitante, com informações relativas a obra.



Figure 9: Sistema guia Hikari, Shimizu Corporation, Japão [6]

3.2 Supermercado

Na figura 10, informações sobre produtos em um supermercado são obtidas diretamente no carrinho de compras, equipado com um receptor de luz visível. Um protótipo criado pela NEC e Matsushita Electric Works, membros do Visible Light Communication Consortium. Outro estudo realizado em um supermercado foi a instalação de identificadores usando LEDs em cada carrinho de compras e leitores ao longo de todos os corredores, permitindo assim analisar os movimentos dos consumidores, velocidade em cada corredor, corredores mais percorridos, entre outras informações.



Figure 10: Um supermercado usando VLC [6]

3.3 Semáforo

Na figura 11 vemos a transmissão de dados a partir dos LED de sinalização de um semáforo. A transmissão é baseada no padrão japonês Jeita CP-1222. O semáforo pode, por exemplo, informar a sua coordenada ou dados sobre o trânsito.



Figure 11: Sinalização e dados simultaneamente [6]

3.4 Comunicação submarina

Para finalizar os exemplos de aplicações, temos a comunicação sob a água. Ondas de rádio não se propagam por grandes distâncias sob a água, principalmente a água salgada. Assim, a opção de usar portadoras de baixa frequência, limita também a taxa de transmissão. Em outubro de 2010 a Universidade de Keio, os laboratórios Nakagawa e a empresa Rise Underwater demonstraram um transmissor VLC em forma de lanterna foi capaz de transmitir sinais a 30 metros de distância sob a água. Assim mergulhadores podem comunicar-se com voz. A luz produzida pelos LEDs da lanterna é modulada por intensidade. Um fotodetector fica ao lado dos LEDs

e funciona como receptor. A empresa Rise pretende comercializar o produto em 2011. Uma imagem do sistema na figura 12.



Figure 12: Comunicação submarina [6]

4 PROTÓTIPOS

No laboratório da UFF estamos trabalhando em protótipos de sistemas VLC. A idéia é produzir dispositivos de menor custo possível, com componentes ditos 'de prateleira'. Na figura 13 vemos um dos protótipos da Universidade de Boston, que tem um grupo de pesquisa na área de VLC e gentilmente nos cedeu um para testes, com banda passante de 2 Mhz. Na figura 14 um dos protótipos iniciais da UFF com 50 LEDs brancos, produzindo 250 Lumens, com banda passante de 4 Mhz em distancia de 50 cm. Na figura 15 um protótipo com LED Ostar da Osram e fotodetores PIN da Hamamatsu, em BIAS reverso e usando amplificador de transimpedância, obtivemos banda passante de 20Mhz numa distancia de 2.5m, com filtro azul. Ele produz 450 Lumens. Opera em 24 V com corrente nominal de 1 Ampere. Devida a elevada potência de operação do LED ele deve ser encapsulado por um dissipador.

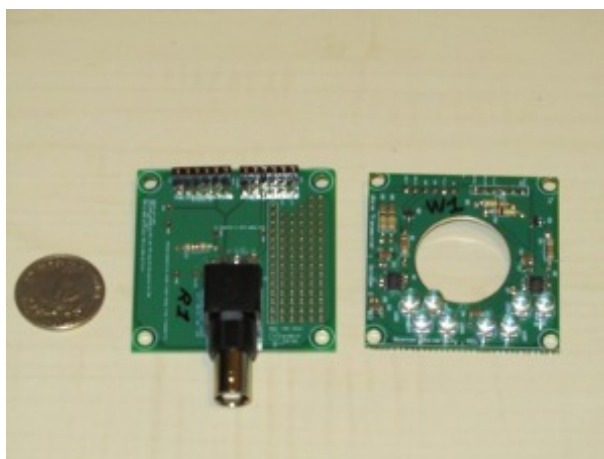


Figure 13: Protótipo Universidade de Boston

As figuras seguintes estão relacionadas ao protótipo da UFF com led OSTAR. Na figura 16 vemos a lente do receptor com e sem o filtro azul. O filtro azul é utilizado para minimizar os efeitos do fósforo empregado no Led branco.

Na figura 17 observamos o sinal detectado no receptor com e sem o filtro azul.



Figure 14: Protótipo UFF - 50 LEDs 10000 mCandelas

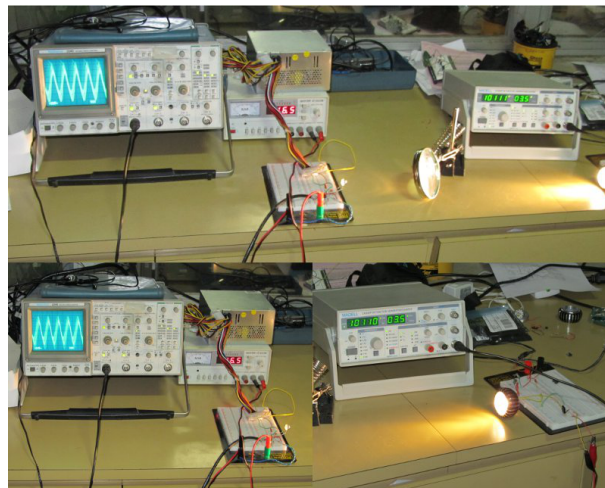


Figure 15: Protótipo UFF - Led OSTAR Osram



Figure 16: Lentes do receptor com e sem filtro azul



Figure 17: Lentes do receptor com e sem filtro azul

5 CONCLUSÕES

A tecnologia VLC está em ascensão e tem pesquisas em curso em diversos países como Japão, Estados Unidos, França e Alemanha. Os padrões Jeita CP-1221 e o subsequente Jeita CP-1222, bem como o IEEE 802.15 (Wireless Personal Area Networks ou WPAN), no grupo de trabalho 7 (que está empenhando em definir a camada física e o controle de acesso ao meio de sistemas VLC), mostram que há um real interesse pelo desenvolvimento e implementação. A crescente necessidade de economia de energia e demanda por eficiência energética são grandes motivadores da pesquisa científica atual. A ubiquidade das redes elétricas, combinada com o interesse de conectividade constante com a Internet, em uma sociedade que cada vez produz e compartilha um maior volume de dados, com dispositivos portáteis cada vez mais rápidos e dependentes de altas taxas de transmissão de dados, criam um ambiente propício para investimento e pesquisa em comunicação óptica através de luz visível. Há sem dúvida um futuro 'brilhante' para ela.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr. Thomas Little e Jimmy C. Chau da Boston University que conheci em visita a Boston University durante o seminário Smart Spaces e que nos forneceram um protótipo para estudo aqui no Brasil. Agradeço também ao Dr. Shinichiro Haruyama por sua boa vontade e cordialidade ao discutir assuntos relacionados a VLC na conferência Smart Spaces. E ao Dr. Joachim Walewski por nos fornecer o paper [3].

REFERENCES

- [1] Johnson, R. Collin . "Visible light illuminates a new approach for wireless comms" em: Electronic Engineering Times, Maio de 2010, disponível em: <http://www.eetimes.com/electronics-news/4199569/Visible-light-illuminates-a-new-approach-for-wireless-comms-item-1> , acesso em Maio de 2010.
- [2] OBrien Dominic; Zeng , Lubin; Le-minh , Hoa; Faulkner , Grahane; Bouchet, Olivier; Randel , Sebastien, Walewski , Joachim; Borges , Jose A. Rabadan; Langer , Klaus-Dieter; Grubor , Jelena; Lee , Kyungwon; Won, Eun Tae. "Visible Light Communication em Short Range Wireless Communications Emerging Technologies and Applications", John Wiley and Sons, Inglaterra, 2009 , capítulo 25, p 329-342.
- [3] Walewski, J.W. et all, 513Mbit/s Visible Light Communication Link Based on DMT-modulation of a White Led. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2010, volume 28 issue 24.
- [4] Tanaka, Yuichi; Komine, Toshihiro; Haruyama, Shinichiro; Nakagawa, Massao, "Indoor Visible Light Data Transmission utilizing white led lights" , IEICE Communication Society: Transactions on Communications Volume E86-B, Número 8, Agosto 2003.
- [5] Zeng, L.; Le-Minh, H.; OBrien, D.C. et al. "Improvement of Data Rate by using Equalization in an Indoor Visible Light Communication System". presentation at IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications, 2008, Shanghai, China.
- [6] Haruyama, Shinichiro, "Visible Light Communications: Recent Activities in Japan". Smart Spaces: A Smart Lighting Industry Academia Day, BU Photonics Center, Boston University, February 8, 2011

- [7] Ishida, Masanori; Miyaushi, Satori; Komine, Toshihiro; Haruyama, Shinichiro; Nakagawa, Massao, *"An Architecture for High-Speed Parallel Wireless Visible Light Communication System Using 2D Image Sensor and LED transmitter"* Simpósio Internacional em Wireless Personal Multimedia Communication (WPMC) (CDROM), 2005.
- [8] Graeme, Jerald G., *"Photodiode Amplifiers OP AMP solutions"*, McGraw Hill, 1996
- [9] O'Brien, Dominic, *"Visible Light Communications: Achieving high data rates"*, Smart Spaces: A Smart Lighting Industry Academia Day, BU Photonics Center, Boston University, February 8, 2011
- [10] Haitz, Roland ; Tsao, Jeffrey Y., *"Solid-state lighting: The case 10 years after and future prospects"*, Phys. Status Solidi A 208, No.1, 1729, 2011
- [11] Le-Minh, H; O'Brien, Dominic; Faulkner, G.; Zeng, I.; Lee, K.; Jung, D.; Oh, Y., *"High-Speed Visible Light Communications Using Multiple-Resonant Equalization,"*, Photonics Technology Letters, vol. 20, pp. 1243-1245, 2008.
- [12] Langer, Klaus-Dieter, Vucic, Jelena *"Optical Wireless Indoor Networks: Recent Implementation Efforts"*, Proceedings of ECOC 2010, paper We.6.B.1, Sept. 22, 2010
- [13] Kumar, Navin; Lourenço, Nuno; Aguiar, Rui L , *"Visible Light Communication Systems Conception and VIDAS"*, IETE 2008, volume 25, edição 6, pp 359-367, Portugal.