

Drivers de Lâmpadas de LED: Topologias, Aplicações e Desempenho

LED Lamps Drivers: Topology, Applications and Performance

Raul Vitor Arantes Monteiro, Bismarck Castillo Carvalho e Fernando Nogueira

Professores do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia FAET/UFMT
(raulvdm@terra.com.br); bcc@cpd.ufmt.br e fernandn@ufmt.br

Enviado em setembro 2014: Aceito em: setembro 2014 Publicado em Novembro 2014

Resumo – Equipamentos elétricos mais eficientes são objetos de constante preocupação por parte de fabricantes e usuários. Nesse contexto, na área de iluminação, as lâmpadas de LED (*lighting emitting diode*) são uns dos principais dispositivos utilizados para eficiência elétrica. Os LEDs são dispositivos que operam em corrente contínua, para tanto, se utilizam de circuitos acionadores denominados *drivers*. Apesar de sua importância, pouco se sabe sobre a constituição e funcionamento destes componentes. Nessa perspectiva, este artigo tem por objetivo apresentar as topologias mais comuns de *drivers* de lâmpadas de LED utilizadas e seus desempenhos no tocante ao fator de potência, distorções harmônicas e vida útil.

Palavras – Chaves: Drivers de acionamento LED. Eficiência elétrica. Qualidade da Energia Elétrica.

Abstract - More efficient electrical equipment are subjects to constant concern on the part of manufacturers and users. In this context, in the area of lighting, LED lamps (*lighting emitting diode*) are the main devices used for electrical efficiency ones. The LEDs are devices that operate on direct current, therefore, make use of triggers circuits called drivers. Despite its importance, little is known about the establishment and operation of these components. In this perspective, this article aims to present the most common topologies drivers LED bulbs used and their performance with respect to power factor, harmonic distortion and life.

Keywords: LED drivers drive. Electrical efficiency. Power Quality.

Introdução

LED (*lighting emitting diode*) ou diodos emissores de luz, vem sendo desenvolvidos desde a década de 60. Apesar disto, somente nos últimos 10 anos é que este dispositivo tem atraído maior interesse por parte de pesquisadores, devido, principalmente, ao fato de suas características luminosas terem sido consideravelmente melhoradas (Bullough, 2003). Cita-se, como exemplo, o aumento do fluxo luminoso emitido por estes dispositivos de iluminação. Os LEDs funcionam em baixa tensão e corrente elétrica. Um único LED necessita apenas de correntes com magnitudes entre 1 a 50 miliampéres para o seu funcionamento e devem ser polarizados diretamente, podendo ser destruídos caso sejam polarizados inversamente (Bollough, 2003).

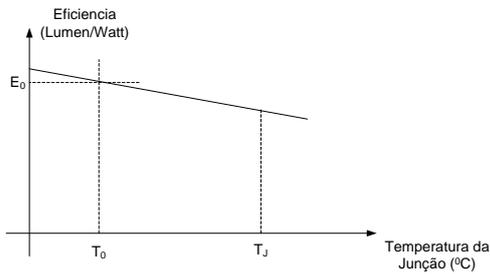
É importante que se tenha o controle o nível de tensão para que a corrente que circulará no arranjo feito para lâmpadas de LED não venha a interferir nas características de iluminação dos LEDs, uma vez que o nível de brilho da luz

emitida pelo LED é proporcional à corrente que circula entre seus terminais. Correntes acima dos limites recomendados pelos fabricantes podem diminuir a vida útil dos LEDs inseridos nos arranjos que constituem a lâmpada LED (Bollough, 2003), comprometendo, desta forma, o que torna os LEDs tão atrativos do ponto de vista econômico: a sua elevada vida útil.

O controle de tensão também é importante devido à influência da corrente que circula no circuito na temperatura de junção do LED. Um aumento desta temperatura provoca a perda de eficiência de iluminação (Lúmens/Watts) do LED (Qin, Lin, Hui, 2009) e também pode provocar a mudança na coloração da luz emitida (Bollough, 2003). As Figuras 1 e 2 ilustram essas relações.

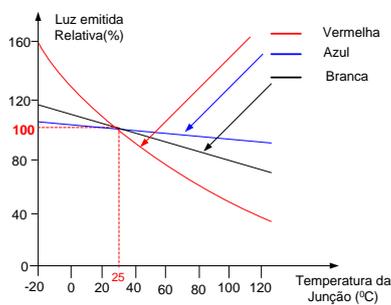
O aumento da temperatura de junção também resulta num decréscimo da resistência do material do LED, uma vez que este semicondutor apresenta uma resistência com coeficiente de temperatura negativo (Pinto, 2008), o que pode levar a uma potencialização desse aumento de temperatura e ocasionar a sua queima.

Figura 1 - Relação entre temperatura de junção e eficiência luminosa de LEDs



Fonte: Qin, Lin, Hui, 2009

Figura 2 - Relação entre a temperatura de junção do LED e cor da luz emitida



Fonte: Bollough, 2003

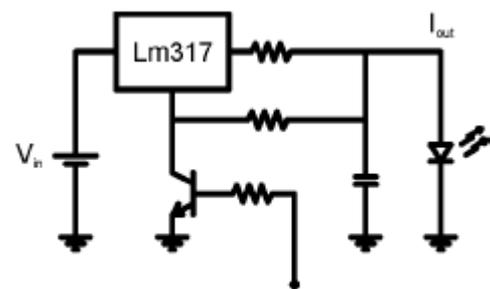
As lâmpadas de LED são constituídas por um arranjo contendo vários LEDs individuais e não podem ser conectadas diretamente à rede elétrica, pois as tensões e correntes nominais são incompatíveis, sendo necessária a conexão de *drivers*. Os *drivers* propiciam o controle das grandezas envolvidas no acionamento das lâmpadas de LED, disponibilizando tensões e correntes dentro dos limites especificados pelo fabricante, desta forma, assegurando segurança e funcionamento adequado das mesmas. Pode-se dizer, que estes circuitos funcionam como os reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes, podendo ser embutidos ou separados no conjunto das lâmpadas, dependendo dos fabricantes.

Lâmpadas de LED podem ser também dimerizadas. A dimerização é o processo pelo qual se controla a intensidade da luz emitida por um dispositivo emissor de luz artificial através do controle da tensão aplicada a este dispositivo. Isto pode ser feito através de modulação por largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*) ou por amplitude modulada (AM). Todavia, a

modulação PWM deve ser feita em frequências de modulação muito elevadas, com o a finalidade de evitar que o efeito *flicker* provoque desconforto para as pessoas, uma vez que nesta modulação são ajustadas as durações dos pulsos e o tempo entre os pulsos emitidos (Boullough, 2003). Salienta-se, que a dimerização não afeta a temperatura de junção dos LEDs e, portanto, não compromete sua vida útil e eficiência luminosa.

A dimerização pode ser feita através de conversores lineares ou circuitos integrados (CIs). A Figura 3 ilustra um circuito que utiliza um CI Lm317, sinais PWM para controle da intensidade luminosa do LED enquanto que a Figura 4 retrata o comportamento deste arranjo.

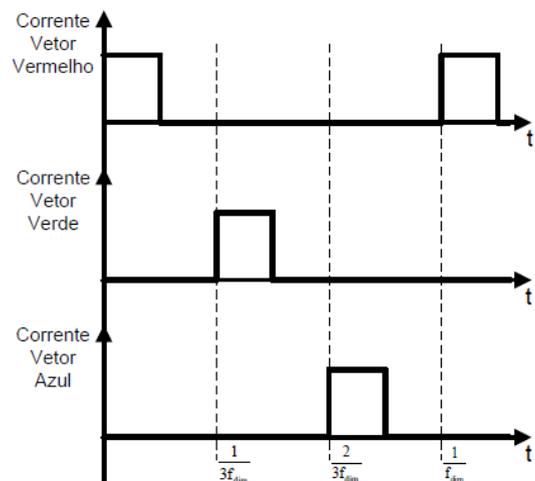
Figura 3 - Conversor linear de acionamento para dimerização



Dimerização

Fonte: Pinto, 2008

Figura 4 - Sinais PWM para controle de intensidade luminosa e cor



Fonte: Júnior, 2008

CIRCUITOS DE ACIONAMENTOS LED: TOPOLOGIAS E DESEMPENHO

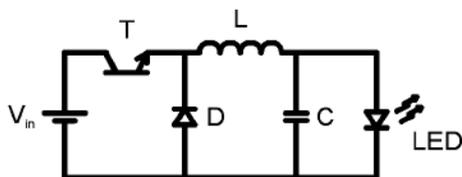
Conforme já mencionado, as lâmpadas de LED necessitam de circuitos acionadores para controle de tensão e corrente denominados *drivers*. Existem várias topologias para esses circuitos acionadores, que variam de acordo com as características de funcionamento que se deseja para as lâmpadas, alguns dos quais são apresentados neste trabalho. As topologias mais comuns são *Buck*, *Boost*, *Buck – Boost*, *Buck Quadrático*, *SEPIC*, *Cúk*, *Zeta*, *Flyback* e os *Conversores Lineares* e são classificados em dois grupos: Isolados e não isolados. Existem ainda as topologias *resistor série* e *capacitor série*, porém, não são utilizados devido a sua baixa eficiência (YU, YANG, 2009).

Os Conversores CC são utilizados para converter uma tensão de entrada CC não controlada em uma tensão de saída CC controlada. Este controle é conseguido através da modulação por largura de pulsos a uma frequência fixa, neste caso, geralmente são empregados para o chaveamento transistores como BJTs, MOSFETs ou IGBT de potência (Rashid, 1999).

A) Conversor Buck

Na Figura 5 é mostrado um arranjo típico de conversor *Buck*. Neste tipo de conversor, a tensão média de saída, V_{LED} , é menor do que a tensão média de entrada, V_{in} . O conversor *Buck* pode operar em dois modos.

Figura 5 - Conversor *Buck*



Fonte: Adaptado. Pinto, 2008

O primeiro modo ocorre instante $t = 0$, quando o transistor T está conduzindo e as correntes que circulam em L, C e LED, aumenta. No segundo instante $t = t_1$ o transistor T é desligado e para de

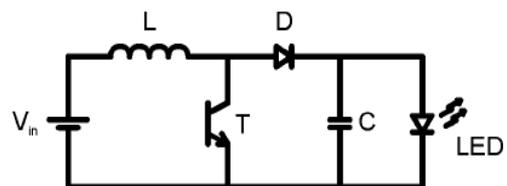
conduzir. Nessa condição, a corrente acumulada em L circula através do diodo D, C e do LED. A corrente continua a circular até começar a diminuir e o transistor T é ligado novamente (Rashid, 1999). Segundo Pinto (2008), “o conjunto L – C é utilizado como um filtro passa – baixa. O indutor limita a ondulação de corrente e o capacitor limita a ondulação de tensão”. Este conversor não proporciona isolamento entre a fonte e a carga.

O conversor Buck pode ser projetado para operar em modo de condução contínua (MCC) ou descontínua (MCD).

B) Conversor Boost

O conversor *Boost* opera de modo contrário ao conversor *Buck*. Neste conversor a tensão de saída V_{LED} é maior do que a tensão de entrada V_{in} . Sua operação também pode ser dividida em dois modos. Uma topologia típica pode ser vista na Figura 6.

Figura 6 - Conversor Boost



Fonte: Adaptado. Pinto, 2008

No primeiro modo de operação, no instante $t = 0$, o transistor T entra em condução. A corrente de entrada cresce e flui entre o filtro indutor L e o transistor. O segundo modo se inicia quando o transistor entra em bloqueio no instante $t = t_1$. A corrente que estava fluindo através do transistor flui agora entre o indutor L, o diodo D, o capacitor e o LED (Rashid, 1999). Este conversor pode funcionar no modo de condução contínua (MCC) ou descontínua (MCD).

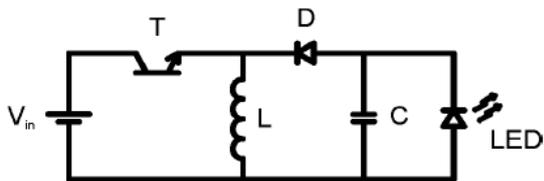
Segundo Pinto (2008), o princípio de funcionamento desse conversor baseia-se em armazenar energia no indutor enquanto o transistor está conduzindo e transferir essa energia para a carga quando o transistor entrar em bloqueio. Esta topologia é muito empregada para alimentar LEDs através de baterias.

C) Conversor Buck – Boost

O conversor *Buck – Boost* é resultado da junção dos dois conversores mostrados anteriormente e apresenta uma característica de tensão de saída menor ou maior que a tensão de entrada, porém, com polaridade invertida em relação à de entrada (Rashid, 1999).

Este conversor pode operar de dois modos. No primeiro modo o transistor T está em condução e a corrente que cresce, devido ao indutor, circula entre o transistor e o indutor L. Neste modo o diodo D está polarizado inversamente. No segundo estágio, o transistor entra em bloqueio e a corrente circula através do diodo D, do indutor L, do capacitor C e do LED. A energia armazenada no indutor L é transferida para carga e a corrente no indutor diminui até que o transistor passe a conduzir novamente (Rashid, 1999). A Figura 7 ilustra a topologia de um conversor *Buck – Boost*.

Figura 7 - Conversor Buck – Boost



Fonte: Adaptado. Pinto, 2008

Segundo Pinto (2008) “este conversor é bastante utilizado para alimentar um LED por meio de uma bateria, regulando a tensão de saída em função da variação da tensão de entrada”.

Alonso et al. (2012) apresenta uma alternativa para a substituição de lâmpadas halógenas incandescentes por lâmpadas de LED. A alimentação das lâmpadas de LED num primeiro momento é efetuada com auxílio de um circuito passivo (retificador simples de onda completa) e num segundo momento com um conversor *Buck – Boost* em operação descontínua analisados experimentalmente, comparando harmônico de corrente, aspectos luminotécnicos, e o fator de potência entre as duas alternativas. O conversor *Buck – Boost* apresentou uma eficiência superior a 7% comparado à solução passiva (retificador simples de onda completa), melhor fator de

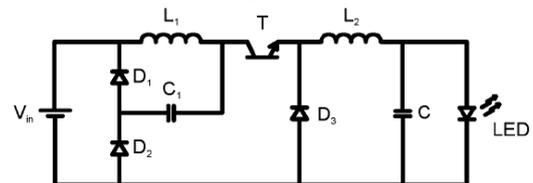
potência, baixa distorção harmônica de corrente e ainda apresentou a possibilidade de se dimerizar a lâmpada.

D) Conversor Buck Quadrático

Através das topologias básicas apresentadas anteriormente, outras topologias podem ser criadas por meio da combinação de algumas delas. É o caso do conversor *Buck – Quadrático*, que nada mais é do que a combinação de dois conversores *Buck* conectados em série.

Nesta topologia, o valor da tensão de saída ainda será menor do que o valor de entrada, porém, com uma relação exponencial (Pinto, 2008). A Figura 8 a seguir ilustra essa topologia.

Figura 8 - Conversor Buck Quadrático

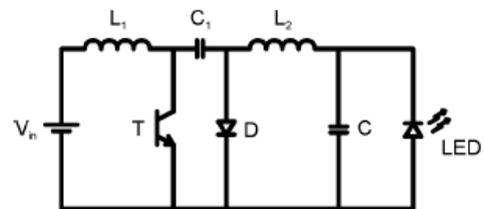


Fonte: Adaptado. Pinto, 2008

E) Conversores Cúk, Zeta e SÉPIC

O conversor *Cúk* é formado por um conversor *Boost* em série com um conversor *Buck*. Similar ao conversor *Buck – Boost*, este conversor apresenta tensão de saída menor ou maior do que a tensão de entrada, dependendo dos instantes de condução do transistor. A Figura 9 ilustra essa topologia.

Figura 9 - Conversor Cúk.

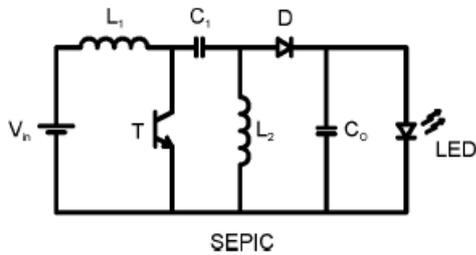


Fonte: Adaptado. Pinto, 2008

O conversor *SÉPIC* é constituído de um conversor *Boost* e um *Buck – Boost* conectados em série. Segundo Pinto (2008) “a vantagem desse circuito em relação ao *Buck - Boost* é que a

corrente de entrada pode ser contínua e a tensão de saída não possui polaridade invertida”. A Figura 10 mostra essa topologia.

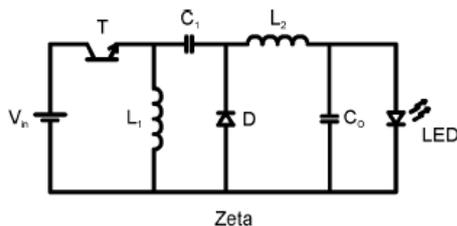
Figura 10 - Conversor *SEPIC*



Fonte: Adaptado. Pinto, 2008

O Conversor *Zeta* é formado por um *Buck – Boost* e um *Buck* conectados em série. Funciona como um conversor *Buck – Boost*, ou seja, a tensão de saída pode ser superior ou inferior a de entrada, porém, sem ter a polaridade invertida. A Figura 11 mostra um arranjo típico para este tipo de driver.

Figura 11 - Conversor *Zeta*



Fonte: Adaptado. Pinto, 2008

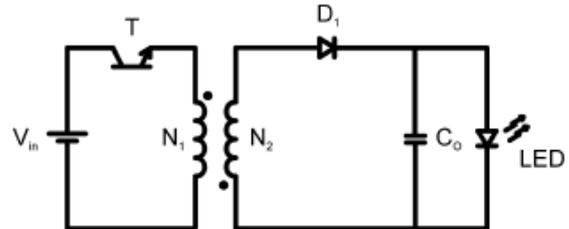
Estudo realizado por Alonso et al. (2011), referente à substituição de lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas de LED, conclui que a topologia de conversor *Zeta* apresenta um elevado fator de potencia na entrada e uma tensão de saída menor do que na entrada que alimenta a matriz de rede de LEDs. Essa diminuição do nível de tensão na saída tem como consequência uma redução no *ripple* de tensão e corrente, dessa forma aumentando a vida útil dos capacitores a filme e em consequência a vida útil dos LEDs. O estudo acaba evidenciando que devido ao segundo estágio (conversor *Buck*) que reduz *ripples* de baixa frequência, este tipo de conversor tem boa performance quando alimentado com tensão contínua. Como

benefícios desta situação, menciona-se: elevado fator de potência, baixa distorção harmônica de corrente e eficiência aceitável, podendo desta forma, utilizar-se capacitores de baixas capacitâncias nas saídas dos estágios do circuito, aumentando a vida útil do conversor.

F) Conversor *Flyback*

Os conversores do tipo *flyback* apresentam as mesmas características de disponibilidade de tensão dos conversores *Buck* e *Boost*. Podem disponibilizar uma tensão de saída superior ou inferior a de entrada, porém, diferentemente dos conversores citados o *flyback* possui isolamento entre a fonte de tensão e o circuito conversor. Na Figura 12 é apresentado esse conversor.

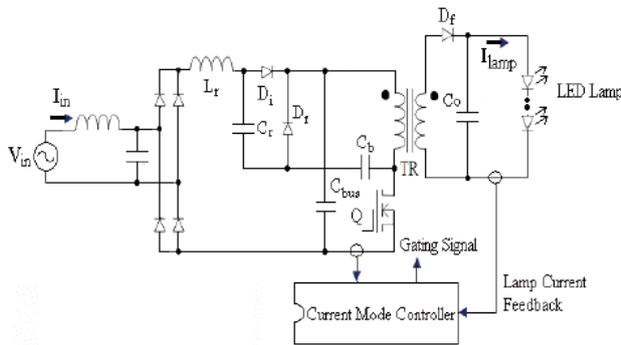
Figura 12 - Conversor *Flyback*.



Fonte: Pinto, 2008

TianFu et al. (2007), propõem um circuito de *drive* como alternativa para *drivers* do tipo conversor de estágio único *flyback* com um CI corretor de fator de potência, com a adição de um capacitor de carga denominado conversor carga – bomba, composto por um indutor L_r , capacitores C_r e C_b , diodo de roda livre D_i e o diodo D_r . Através desta topologia, demonstra ter alcançado um alto fator de potência, porém o CI causa *ripple* de corrente duas vezes maior do que a frequência de linha, sendo necessário colocar um regulador linear com perdas em série com os LEDs eliminando assim o *ripple* de corrente e controlando o brilho dos LEDs. Este circuito é ilustrado na Figura 13

Figura 13 - Conversor *flyback* com circuito corretor de fator de potência.

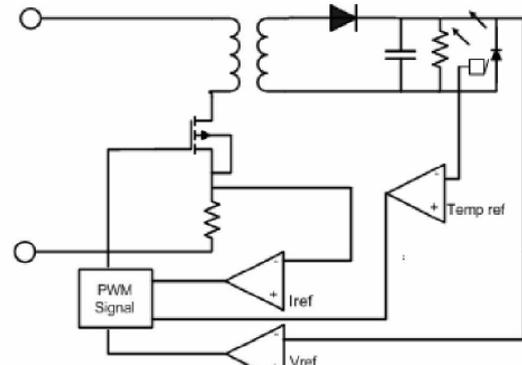


Fonte: TianFu et al., 2007

Chen et al. (2010), propõem um circuito de *driver* para diversos tipos de lâmpadas de LED que combina um circuito *Flyback* e um circuito *Boost*. O circuito *flyback* é o mais amplamente utilizado, pois além de ser um circuito barato também é muito simples, além de disponibilizar isolamento elétrica entre a entrada e saída do circuito aumentando assim a proteção ao *driver*. O circuito *boost*, como já citado, entrega uma tensão de saída mais elevada do que a tensão de entrada. Os experimentos demonstram que essa topologia adotada resultou em alta eficiência e baixa perda em qualidade da luz emitida pelos LEDs ao longo do tempo, ou seja, a topologia apresentou uma boa estabilidade de corrente.

Cheng e Cheng (2006) propõem um circuito de *driver* do tipo *flyback* em modo descontínuo com modulação PWM para controle de tensão. É inserido um circuito de proteção por temperatura juntamente ao modulador PWM para proteger o circuito do LED. Dessa maneira o circuito de proteção por temperatura controlará a frequência do modulador PWM garantindo que quando a temperatura de junção do LED estiver muito elevada, este modulador diminuirá o nível da corrente do LED, dessa maneira aumentando a vida útil da lâmpada e garantindo uma boa qualidade de iluminação, que não seria garantida caso a temperatura de junção do LED ficasse muito elevada. O esquema proposto pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Flyback com modulação PWM e controle de temperatura



Fonte: Cheng, Cheng 2006

Conclusão

Neste trabalho buscou-se demonstrar os tipos de circuitos de acionamentos para lâmpadas de LED (*Drivers*) e suas características construtivas e elétricas. Estudos vêm sendo feito em torno desses circuitos afim de propor melhorias quanto à características do funcionamento de lâmpadas de LED como fator de potência, vida útil, distorções harmônicas, dimirização, etc. O avanço desses estudos se torna importante no que tange a conservação de energia elétrica através de estudos de eficiência elétrica da substituição de lâmpadas menos eficientes por lâmpadas mais eficientes como é o caso das lâmpadas de LED.

Referências

Alonso, J. Marcos; Gacio, Calleja. David; Antonio J.; Ribas, Javier; Corominas, Emilio López. **A Study on LED Retrofit Solutions for Low-Voltage Halogen Cycle Lamps**. IEEE Transactions on Industry Applications, 5, vol. 48, pp. 1673 – 1773. set/out. 2012.

Alonso, J. Marcos; Calleja, Antonio J.; Gacio, David; Cardesín, Jesús; López, Emilio. **A Long-Life High-Power-Factor HPS-Lamp LED Retrofit Converter Based on the Integrated Buck-Boost Buck Topology**. IECON - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. 2011.

Bullough, J. D. **Lighting Answers: Led Systems**. National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Vol. 7, Issue 3, 2003.

Chen, Kuo-kuang; Wang, Shun-Jih; Lee, Ming-rong; Chen, Daniel. **A High-efficiency Integrated Circuit for LED Driving**. IEEE. International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation, pp. 385 – 388. 2010.

Cheng, Y.K.; Cheng, K.W.E. **General Study for using LED to replace traditional lighting devices**. IEEE 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications. pp. 173 – 177. 2006.

Júnior, Eloi Agostini. **Estudo e implementação de uma estrutura para a alimentação de LEDs de potência como o controle da cor e da intensidade luminosa**. 2008. 159 f. Dissertação (mestrado em engenharia elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina – SC.

Pan TianFu, Chiu HuangJen, Cheng ShihJen, Chyng ShihYen. **An improved single-stage flyback PFC converter for high-luminance lighting led lamps**. IEEE The Eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments, pp. 212 – 215. 2007.

Pinto, R. A. **Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LEDs)**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria – RS.

Qin, Yaxiao; Lin, Deyan; Hui, S. Y. (Ron). **A Simple Method for Comparative Study on the Thermal performance of LEDs and Fluorescent Lamps**. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, no. 7. Jul. 2009.

Rashid, Muhammad H. **Eletrônica de Potência – Circuitos, dispositivos e aplicações**. MAKRON

Books do Brasil Editora Ltda., São Paulo, trad., 817 pags. 1999.

YU, Liu; YANG, Jinming. **The Topologies of White LED Lamps' Power Drivers**. IEEE. 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications. 2009