

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA PARA ALIMENTAR LEDS SEM CONSUMO DE ENERGIA DURANTE O HORÁRIO DE PONTA EMPREGANDO CONVERSORES INTEGRADOS

Rafael A. Pinto, João G. Roncalio, Marcelo R. Cosetin, Tiago B. Marchesan, Marco A. Dalla Costa, J. Marcos Alonso* e Ricardo N. do Prado, *Member*, IEEE

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Grupo de Inteligência em Iluminação (GEDRE)
Santa Maria – RS, Brasil

*Universidade de Oviedo, DIEECS – Tecnologia Eletrônica, Espanha
rafael@gedre.ufsm.br

Resumo – Este artigo apresenta duas topologias para um sistema de iluminação pública com alto fator de potência baseado em diodos emissores de luz (LEDs). O diferencial deste trabalho está na possibilidade de alimentar os LEDs por baterias durante o horário de ponta. O horário de ponta é considerado um período no qual a demanda de energia da rede é máxima e, portanto, a geração de energia e as linhas de transmissão devem ser capazes de atender essa demanda. Neste trabalho, um conversor flyback com duas saídas é utilizado para alimentar os LEDs pela rede e ainda realizar a carga da bateria. Uma topologia utiliza um enrolamento auxiliar para alimentar os LEDs pela bateria enquanto a outra utiliza o mesmo enrolamento primário para alimentar os LEDs pela bateria ou pela rede. Além disso, um conversor buck é utilizado para o estágio de correção de fator de potência (PFC). A integração desses conversores é realizada com o objetivo de reduzir o número de componentes, o custo e consequentemente o volume do circuito. O circuito foi implementado e os resultados experimentais são mostrados a fim de comprovar a metodologia de projeto e comparar ambas as topologias.

Palavras-Chave – Conversor bidirecional, Conversor integrado, Conversores CC/CC, Horário de Ponta, Iluminação Pública, LEDs.

HIGH-POWER-FACTOR STREET LIGHTING SYSTEM TO SUPPLY LEDS WITHOUT ENERGY CONSUMPTION DURING THE PEAK LOAD TIME

Abstract – This paper presents two topologies for street lighting system with high power factor based on light emitting diodes (LEDs). The main characteristic of this work is to develop a circuit that supplies the LEDs by an alternative source (battery) during the peak load time. The peak load time is considered as the period in which the demand for power from the mains is maximum, and

therefore the generation of the power plants and transmission lines must be able to meet this demand. In this work, a bidirectional flyback converter with two outputs is used to supply the LEDs by mains and still charge the battery. One topology uses an auxiliary winding to supply the LEDs by battery while other uses the same primary winding to supply the LEDs from the battery or from the mains. Besides, a buck converter is used as Power Factor Correction stage. The integration of these converters is performed in order to reduce the number of components and, consequently, the volume and cost of the circuit. The circuits were implemented and experimental results are shown in order to validate the design methodology, and to compare both topologies.

Keywords - Bidirectional converter, DC/DC converters, Integrated converter, LEDs, Peak Load Time, Street Lighting.

I. INTRODUÇÃO

A iluminação artificial consome uma quantidade considerável de energia gerada no mundo. Assim, com o interesse de reduzir o consumo de energia em vários segmentos, o desenvolvimento de sistemas de iluminação mais eficientes é de extrema importância.

Um dos grandes problemas enfrentado pelas concessionárias de energia é o horário de ponta, o qual é um curto período do dia onde a demanda por energia é maior. Devido a esse período a geração de energia e as linhas de transmissão devem ser projetadas para suportar essa demanda máxima. Entretanto, fora do horário de ponta, o sistema opera com potência reduzida.

Um dos responsáveis pela sobrecarga do sistema durante o horário de ponta é a iluminação pública, pois é nesse período que as luzes da cidade são geralmente acionadas (entre 18 e 21 horas). Portanto, a sobrecarga pode ser reduzida se o sistema de iluminação for acionado por uma fonte de alimentação auxiliar (como uma bateria) durante o horário de ponta. A bateria pode ser carregada pela rede quando a demanda de energia é menor (entre 22 e 5 horas).

Em ambientes externos, como parques, estradas, estacionamentos e vias públicas, geralmente são utilizadas lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão (HPS). A lâmpada HPS é a mais eficiente lâmpada dentre as lâmpadas

Artigo submetido em 18/11/2012 e primeira revisão em 13/02/2013. Aceito para publicação em 03/06/2013 por recomendação do Editor Associado Pedro Francisco Donoso-García e do Editor da Seção Regular, Henrique A. C. Braga.

de descarga em alta pressão e sua vida útil é maior que as lâmpadas incandescentes e fluorescentes. A eficiência dessa lâmpada atinge 120 lm/W e a sua vida útil pode chegar a 32.000 horas. Sua principal limitação é o baixo índice de reprodução de cores (IRC). Assim as cores dos objetos parecem diferentes do real [1].

No entanto, no início dos anos 60, surgiram os diodos emissores de luz (LEDs). Conforme a característica de um diodo semiconductor, a corrente no LED flui em uma única direção, resultando em uma emissão direta de luz [2]. Primeiramente, os LEDs eram utilizados como iluminação indicativa, mas o desenvolvimento de LEDs mais potentes e com alta eficácia luminosa possibilitou seu uso em iluminação de ambientes [3].

A iluminação de estado sólido (SSL) possui características como alta eficácia luminosa (124 lm/W), longa vida útil (50.000 horas) e IRC adequado para aplicação em iluminação de exteriores [4]. Além disso, são fontes de luz compactas e sua estrutura é mais resistente a choques e vibrações. Essas características proporcionam uma redução no lixo gerado, devido ao pequeno tamanho e sua longa vida útil. Os LEDs não possuem elementos químicos prejudiciais ao meio ambiente, como o mercúrio, presente em lâmpadas fluorescentes, além de não utilizar filamento ou gás para a geração de luz. Por estas características, alguns sistemas de iluminação pública baseada em LEDs têm sido desenvolvidos nos últimos anos [4]-[8].

II. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Lâmpadas HPS operam com tensão e corrente alternada e requerem um pulso de tensão elevado para sua ignição, os quais dificultam seu acionamento por circuitos alimentados por baterias [9] e [10]. Em contrapartida, LEDs operam com corrente contínua, possuem baixa tensão de condução e não necessitam de um processo de ignição, diferentemente das lâmpadas de descarga. Essas características tornam-se vantajosas para circuitos alimentados por baterias [11].

Um sistema de iluminação pública baseado em LEDs deve possuir alto fator de potência e alta eficiência, além de regular a corrente dos LEDs. Para isto, geralmente são empregados os mesmos conversores CC-CC utilizados em reatores eletrônicos para lâmpadas de descarga, como conversores buck, boost, buck-boost e flyback [12] e [13]. Para lâmpadas de descarga, ainda há o acréscimo de um estágio de inversão para alimentar a lâmpada com tensão alternada em baixa ou alta frequência. Em iluminação de estado sólido, o estágio de inversão não é necessário, uma vez que os LEDs operam em corrente contínua. Todavia, é necessário um estágio para alimentar os LEDs através da bateria e outro para recarregá-la a partir da rede.

Desta forma, a Figura 1 representa os estágios de um sistema de iluminação pública baseado em LEDs alimentados pela rede elétrica ou por baterias. Este sistema pode ser aplicado também para iluminação de emergência. O sistema é composto por um estágio de correção do fator de potência, um estágio para controle da corrente nos LEDs (*driver*), um estágio para realizar a recarga da bateria e outro para alimentar os LEDs através da bateria quando necessário.

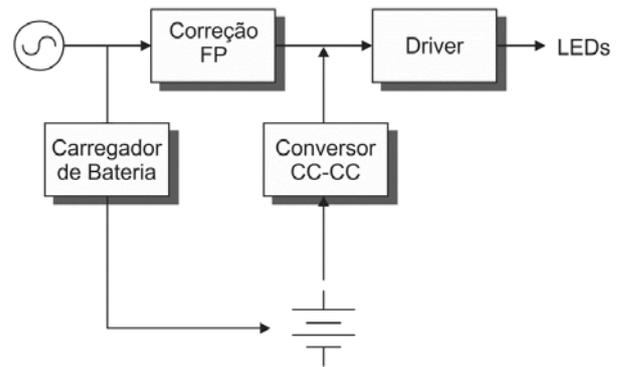


Fig. 1. Diagrama de blocos para um sistema de iluminação pública sem consumo de energia durante o horário de ponta.

III. SISTEMA PROPOSTO

No sistema proposto são utilizados 30 LEDs Philips Luxeon Rebel LXML-PWN1-0100 [14]. Cada LED opera com tensão entre 3,2 e 3,4 V e possui alta intensidade luminosa (180 lm @ 700 mA) [14]. Dentre as várias formas de onda para alimentar os LEDs, a que proporciona maior eficácia luminosa é a corrente constante [15]. Então, o circuito foi desenvolvido para alimentar os LEDs com uma corrente constante de 700 mA. Os LEDs são conectados em série, resultando em uma tensão máxima de saída de 102 V e potência máxima de 71,4 W. Com a conexão dos LEDs em série, a corrente pode ser monitorada e controlada em apenas um braço, simplificando o circuito de realimentação. A tensão de entrada é de 220 V_{RMS} quando alimentado pela rede e 48 V quando alimentado pelo banco de baterias.

Embora os LEDs tenham longa vida útil, a falha de apenas um LED pode impossibilitar o funcionamento de toda a luminária, principalmente se eles estiverem conectados em série. Isto ocorre porque a falha de um LED pode resultar em um circuito aberto, interrompendo o caminho da corrente para os demais. Esta é a principal desvantagem da conexão em série e que leva muitos projetistas a não utilizá-la. Então, para evitar este problema é empregado um circuito de proteção com a introdução de Diacs conectados em paralelo com alguns LEDs formando grupos. O funcionamento deste circuito de proteção é apresentado com maiores detalhes em [11]. Também poderia ser empregado um diodo zener em substituição ao Diac [16].

O estágio PFC pode ser implementado por um conversor CC-CC operando em modo de condução descontínua, a fim de garantir alto fator de potência e baixa taxa de distorção harmônica (THD). Para alimentar os LEDs pela rede e ainda controlar a corrente de saída outro conversor CC-CC se faz necessário.

Em [17], é apresentada a integração de conversores para alimentar lâmpadas HPS. A ideia consiste na integração do estágio de potência com o estágio de correção de fator de potência utilizando um único interruptor para ambas as propostas. Entre todas as topologias apresentadas em [18] e [19], a topologia escolhida para esta aplicação é a integração do conversor buck-flyback, devido a sua simplicidade, baixo custo e alta eficiência.

Além disso, o conversor buck, por ter característica de abaixador de tensão, fornece ao conversor flyback uma tensão mais próxima à dos LEDs. Essa topologia utilizada para alimentar LEDs também pode ser vista em [20].

Um sistema de iluminação convencional, alimentado pela rede ou por baterias, necessita de um conversor para realizar a recarga da bateria através da rede, e de outro conversor para alimentar os LEDs através da bateria. Entretanto, a ideia proposta visa utilizar um conversor flyback bidirecional operando como fonte de corrente para ambos os propósitos, como mostrado na Figura 2.

Em ambas as topologias, os LEDs são alimentados pela saída do conversor flyback composta pelo enrolamento secundário (L_{LEDs}), e a recarga da bateria é realizada pela saída composta pelo enrolamento terciário (L_{bat}). Na topologia mostrada na Figura 2.a, a bateria alimenta os LEDs através do enrolamento auxiliar (L_{aux}). Por outro lado, na topologia mostrada na Figura 2.b, os LEDs são alimentados pela bateria utilizando o mesmo enrolamento primário utilizado pela rede. Isso reduz o número de componentes, pois utiliza apenas um enrolamento primário e um interruptor. Conseqüentemente, o custo e o volume do circuito também são reduzidos. Entretanto, a eficiência da topologia quando alimentada pela bateria é maior quando o enrolamento auxiliar é utilizado. Todos os enrolamentos do conversor flyback estão acoplados em um único núcleo para ambas as topologias.

A. Topologia proposta alimentada pela rede

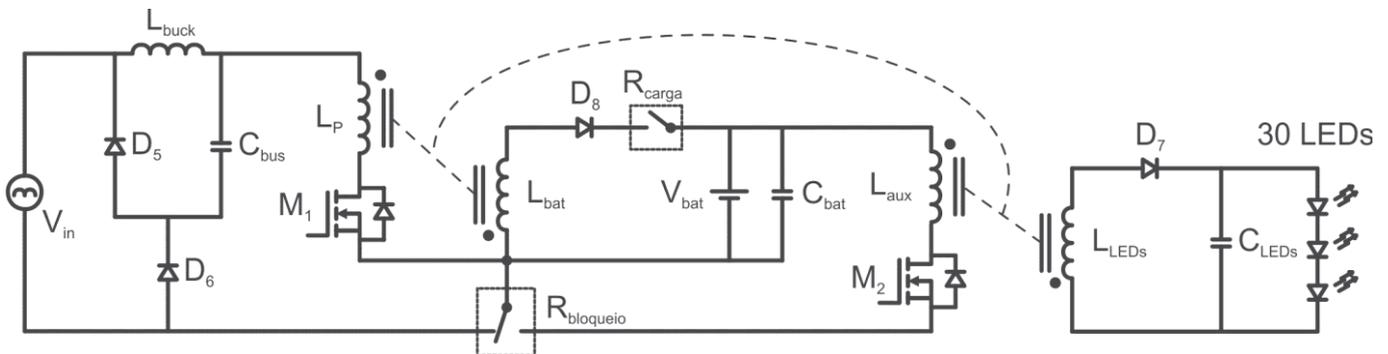
As topologias são idênticas quando alimentadas pela rede. O conversor buck é composto por L_{buck} , D_5 , D_6 , C_{bus} , e o

interruptor M_1 . O lado primário do conversor flyback é composto por L_p , e o interruptor M_1 , o qual é o mesmo interruptor utilizado para o conversor buck. A tensão de barramento ($V_{C_{bus}}$) é a tensão de saída do conversor buck e a tensão de entrada do conversor flyback. Então, a tensão de barramento é menor que a tensão de entrada, resultando em uma tensão de entrada do conversor flyback próxima à dos LEDs (aproximadamente 100 V).

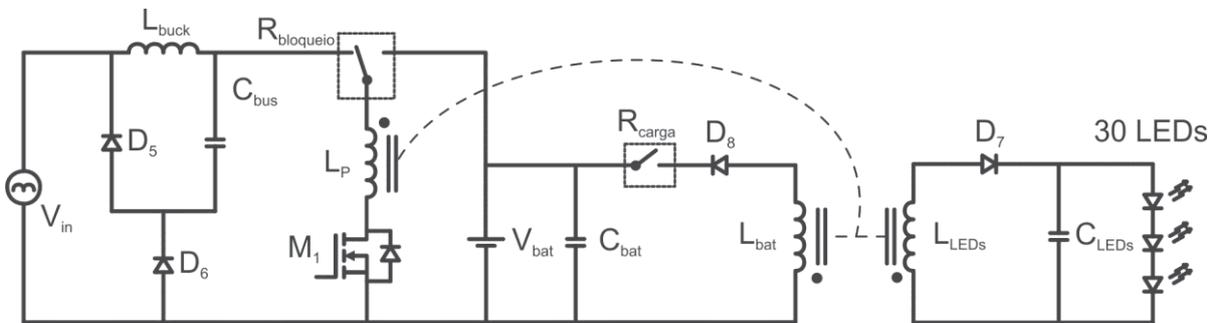
A saída do conversor flyback utilizada para alimentar os LEDs é composta por L_{LEDs} , D_7 , e C_{LEDs} . A outra saída do conversor flyback utilizada para realizar a carga da bateria é composta de L_{bat} , D_8 , C_{bat} , e o relé (R_{carga}). O relé R_{carga} (Um Pólo Uma Posição) desconecta a bateria do carregador quando o processo de carga é finalizado, e o relé $R_{bloqueio}$ (Um Pólo Duas Posições), seleciona a fonte de alimentação do circuito (rede ou bateria) de acordo com a necessidade da aplicação (durante o Horário de Ponta ou em caso de emergência).

Enquanto o circuito é alimentado pela rede, o relé $R_{bloqueio}$ é mantido fechado. Assim, quando o interruptor entra em condução, a fonte de entrada fornece energia para o indutor L_{buck} , e também alimenta o enrolamento primário L_p do conversor flyback, conforme mostra a Figura 3.a e a Figura 4.a para cada topologia proposta. O diodo D_7 não conduz e o capacitor de saída C_{LEDs} mantém a corrente nos LEDs. Da mesma forma, o diodo D_8 não conduz e o capacitor C_{bat} mantém a corrente na bateria, caso o relé R_{carga} esteja em condução.

Quando o interruptor é bloqueado, os diodos D_7 e D_8 conduzem, e a energia armazenada no indutor flyback é transferida para o capacitor de saída (C_{LEDs}) e para os LEDs,



(a) Circuito proposto empregando um enrolamento auxiliar para alimentar os LEDs através da bateria (BF- L_{aux}).



(b) Circuito proposto utilizando um único interruptor para alimentar os LEDs através da rede ou da bateria (BF- L_p).

Fig. 2. Topologias propostas.

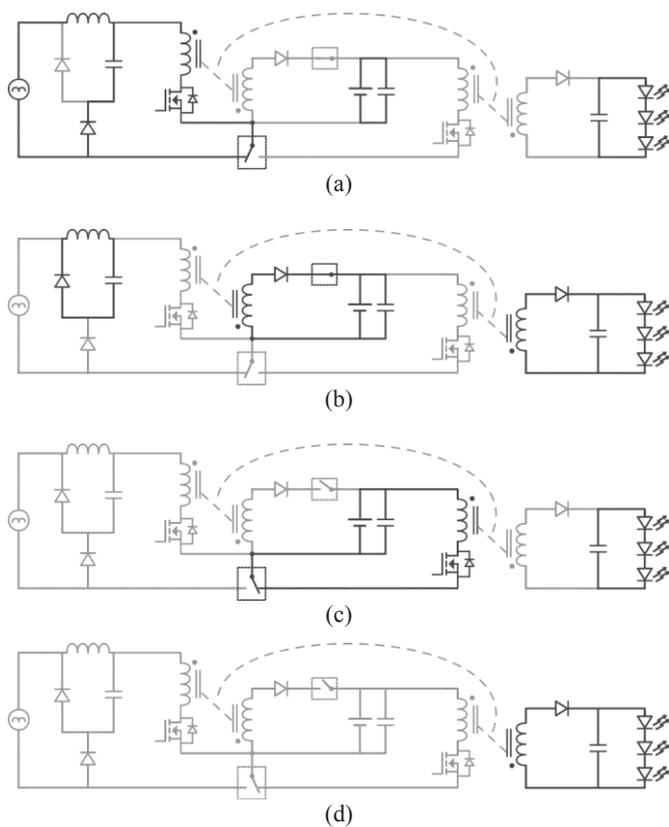


Fig. 3. Etapas de operação da topologia proposta empregando um enrolamento auxiliar para alimentar os LEDs através da bateria. Circuito alimentado através da rede elétrica: (a) interruptor M_1 conduzindo e (b) interruptor M_1 bloqueado; Circuito alimentado através das baterias: (c) interruptor M_2 conduzindo e (d) interruptor M_2 bloqueado;

bem como, para o C_{bat} e para a bateria, conforme mostrado na Figura 3.b e na Figura 4.b. Neste instante, a energia armazenada no indutor L_{buck} é transferida para o capacitor de barramento através do diodo D_5 . Quando o processo de recarga da bateria é encerrado, o relé R_{carga} desabilita uma das saídas do conversor flyback, sem prejudicar a alimentação dos LEDs através da rede elétrica.

B. Topologia proposta alimentada pela bateria

Para a topologia mostrada na Figura 2.a, durante o horário de ponta, o indutor L_P é desconectado da rede pelo relé $R_{bloqueio}$, o qual conecta o indutor L_{aux} nas baterias. Neste estágio, o relé R_{carga} deve ser mantido aberto. Assim quando o interruptor M_2 entra em condução, a bateria fornece energia para o enrolamento auxiliar (L_{aux}), como mostra a Figura 3.c.

Então o diodo D_7 não conduz e o capacitor de saída (C_{LEDs}) mantém a corrente nos LEDs. Quando o interruptor M_2 é bloqueado (Figura 3.d), o diodo D_7 conduz e a energia armazenada é transferida para o capacitor de saída (C_{LEDs}) e para os LEDs.

Na topologia mostrada na Figura 2.b, o relé $R_{bloqueio}$ conecta a bateria ao mesmo enrolamento primário utilizado pelo conversor flyback alimentado pela rede (L_P). Da mesma forma, o relé R_{carga} deve permanecer aberto neste modo de operação. Assim, quando o interruptor M_1 conduz, a tensão

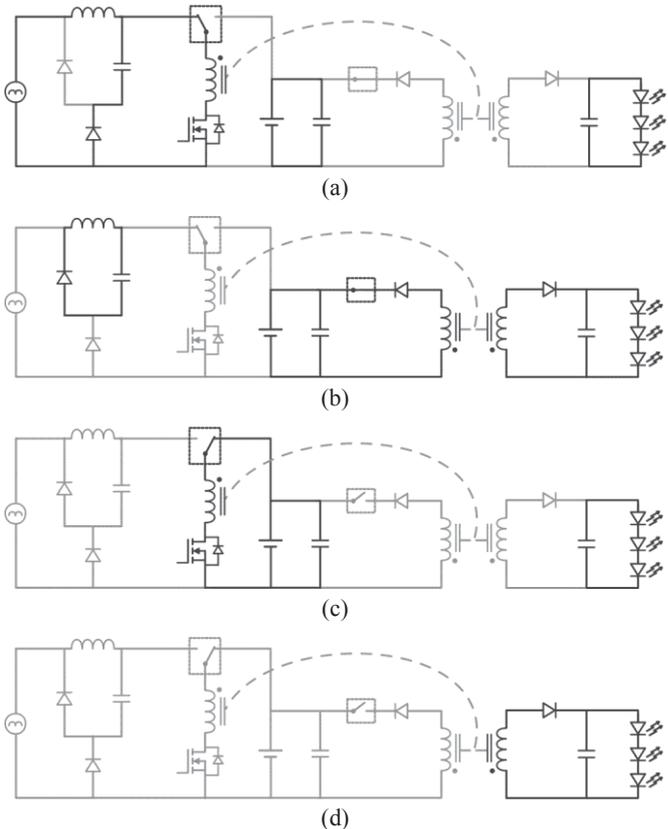


Fig. 4. Etapas de operação da topologia proposta empregando um único interruptor para alimentar os LEDs através da rede ou da bateria. Circuito alimentado através da rede elétrica: (a) interruptor M_1 conduzindo e (b) interruptor M_1 bloqueado; Circuito alimentado através das baterias: (c) interruptor M_1 conduzindo e (d) interruptor M_1 bloqueado;

da bateria é aplicada ao enrolamento L_P , conforme mostra a Figura 4.c. Quando o interruptor é bloqueado, apenas os LEDs são alimentados através do conversor flyback (Figura 4.d). Nessa topologia, a tensão aplicada ao enrolamento L_P do conversor flyback sofre uma variação quando o circuito é alimentado pela rede elétrica ou pela bateria. Por isso, a frequência de chaveamento e a razão cíclica de M_1 devem ser modificadas para manter a corrente nos LEDs constante.

C. Sistema de gerenciamento e controle

Para determinar se o circuito será alimentado pela rede ou pelo banco de baterias um microcontrolador é empregado (MCF51QE128). Além do acionamento dos relés, este microcontrolador é responsável pelo comando dos interruptores (M_1 e M_2), bem como pelo controle da corrente nos LEDs. A corrente dos LEDs é monitorada através de um sensor de efeito hall (ACS712) e processada pelo controlador Proporcional-Integral implementada no microcontrolador, o qual é responsável pela variação da razão cíclica do(s) interruptor(es), mantendo a corrente de saída no valor desejado (700 mA). Para as topologias integradas, o projeto do controlador pode ser feito considerando apenas o estágio de controle de potência na carga alimentado por uma fonte de tensão contínua, a qual representa a tensão de barramento fornecida pelo estágio de correção do fator de potência.

IV. METODOLOGIA DE PROJETO

A. Especificação da Bateria.

A capacidade da bateria é determinada pela energia necessária para manter o circuito funcionando durante o horário de ponta. A corrente de recarga e a capacidade da bateria são determinadas utilizando a mesma metodologia apresentada em [6]. O banco de baterias especificado possui 48 V_{CC}, o qual é composto por quatro baterias conectadas em série. O tempo de carga da bateria exigido é limitado em 6,3 horas, o que resulta em uma corrente de recarga (I_{bat}) de 830 mA. A profundidade de descarga especificada é de 30%. Então, quatro baterias de Chumbo-Ácido de 19 Ah (NEWMAX FNC12190-C) são suficientes para garantir a operação do sistema por três horas.

Dentre os produtos recicláveis, este tipo de bateria ocupa os primeiros lugares, pois mais de 98% das baterias de chumbo-ácido são recicladas [21]. Os materiais podem ser reaproveitados em sua totalidade e o seu processo de reciclagem é regulamentado, evitando que haja prejuízos ao meio-ambiente ao término de sua vida útil.

B. Projeto do conversor flyback alimentado pela rede.

O conversor abaixador de tensão (buck) aplicado em correção do fator de potência atende a norma IEC 61000-3-2 se sua tensão de saída for inferior a 130 V. Isto se uma tensão de alimentação de 220 V_{RMS} for considerada. Entretanto, quanto menor a tensão de saída, maior é o valor da corrente que circula pelo seu indutor. Por isso, a tensão média de saída do conversor buck (V_{Cbus}) e a tensão de entrada do conversor flyback é especificada em 100 V.

A razão cíclica e a frequência de chaveamento para os conversores buck e flyback devem ser as mesmas, uma vez que ambos utilizam um interruptor compartilhado (M₁). O conversor buck aplicado para PFC opera no modo de condução descontínua (MCD). Para isto, sua razão cíclica de operação (D) deve ser inferior ao valor da razão cíclica para o mesmo conversor operando no modo de condução contínua (MCC), o que é aproximadamente 32,3%.

O conversor flyback também é projetado para operar em MCD. Assim, a razão cíclica máxima (D_{max}) é especificada em 31% e a frequência de chaveamento em 80 kHz. A eficiência estimada é de 90 %. Assim, considerando uma tensão entre dreno e fonte do interruptor igual a 1 V, a indutância do enrolamento primário do conversor flyback pode ser determinada por (1). As indutâncias dos enrolamentos secundários dos LEDs e da bateria podem ser obtidas por (2) e (3). Os valores das indutâncias calculadas são: L_p=42,2μH, L_{LEDs}=251μH e L_{bat}=55μH.

$$L_p = \frac{(V_{bus} - V_{ds})^2 D_{max}^2 \eta}{2(V_{LEDs} I_{LEDs} + V_{bat} I_{bat}) f_s} \quad (1)$$

$$L_{LEDs} = L_p \left[\frac{(V_d + V_{LEDs})(1 - D_{max})}{(V_{bus} - V_{ds}) D_{max}} \right]^2 \quad (2)$$

$$L_{bat} = L_p \left[\frac{(V_d + V_{bat})(1 - D_{max})}{(V_{bus} - V_{ds}) D_{max}} \right]^2 \quad (3)$$

Onde:

- L_p - Indutância do enrolamento primário (H).
- V_{bus} - Tensão de entrada do conversor flyback (V).
- V_{ds} - Tensão dreno-source do interruptor M₁ (V).
- D_{max} - Razão cíclica máxima (%).
- η - Eficiência estimada (%).
- V_{LEDs} - Tensão nos LEDs (V).
- I_{LEDs} - Corrente nos LEDs (A).
- V_{bat} - Tensão do banco de baterias (V).
- I_{bat} - Corrente de carga do banco de baterias (A).
- f_s - Frequência de chaveamento (Hz).
- L_{LEDs} - Indutância do enrolamento secundário LEDs (H).
- V_d - Tensão do diodo em condução (V).
- L_{bat} - Indutância do enrolamento secundário bateria (H).

C. Projeto do conversor flyback alimentado pela bateria.

A indutância do enrolamento secundário (L_{LEDs}) foi determinada por (2). Assim, o enrolamento auxiliar deve ser projetado para fornecer a energia necessária para os LEDs e para garantir a operação do conversor flyback no MCD. A tensão mínima de entrada do conversor neste caso (V_{bat_min}) foi considerada 44 V_{CC} (pior caso), e a razão cíclica máxima (D_{bat_max}) foi especificada em 43%. Assim, a indutância do enrolamento auxiliar, determinada por (4), é L_{aux}=22,6 μH. A razão cíclica necessária para manter a potência nominal nos LEDs pode ser obtida por (5), e deve ser inferior à D_{bat_max}. O valor da razão cíclica é de 41,5%.

$$L_{aux} = L_{LEDs} \left[\frac{(V_{bat_min} - V_{ds})(D_{bat_max})}{(V_d + V_{LEDs})(1 - D_{bat_max})} \right]^2 \quad (4)$$

$$D_{bat} = \sqrt{\frac{2L_{aux} V_{LEDs} I_{LEDs} f_s}{(V_{bat_min} - V_{ds})^2 \eta}} \quad (5)$$

As indutâncias do conversor flyback alimentado pela rede foram determinadas por (1), (2) e (3) e não podem ser alteradas com o circuito em funcionamento. Então, as variáveis que podem ser manipuladas para alimentar os LEDs a partir da bateria utilizando o mesmo enrolamento primário (L_p), como mostrado na Figura 2.b, são a razão cíclica e a frequência de chaveamento. A razão cíclica máxima para esta topologia alimentada pela bateria é D_{bat_max}=52,1 %, e pode ser determinada por (6). Portanto, foi especificada uma razão cíclica (D_{bat}) igual a 47,4% a fim de garantir a operação no modo de condução descontínua para o conversor flyback. Entretanto, o aumento da razão cíclica para esta etapa de operação, comparada à etapa na qual a rede elétrica alimenta o circuito, não foi suficiente para compensar a redução da tensão aplicada ao enrolamento L_p. Por isso, é necessário alterar a frequência de chaveamento do interruptor quando alimentado pela bateria a fim de manter a

potência nominal nos LEDs. A frequência de chaveamento calculada de acordo com (7) é $f_{bat}=50$ kHz.

$$D_{bat_max} = \frac{\sqrt{L_P}(V_d + V_{LEDs})}{\sqrt{L_{LEDs}}(V_{bat_min} - V_{ds}) + \sqrt{L_P}(V_d + V_{LEDs})} \quad (6)$$

$$f_{bat} = \frac{(V_{bat} - V_d - V_{ds})^2 D_{bat}^2 \eta}{2(V_{LEDs} I_{LEDs}) L_P} \quad (7)$$

D. Projeto dos capacitores de saída do conversor flyback.

Os capacitores de saída para os LEDs (C_{LEDs}) e para a bateria (C_{bat}) são projetados para limitar a ondulação de tensão de saída dentro de pequenos valores, sem comprometer o volume do circuito. O valor da capacitância para o capacitor dos LEDs deve ser o maior valor considerando o conversor flyback alimentado pela rede (C_{LEDs_rede}) e pela bateria ($C_{LEDs_bateria}$). Os valores dos capacitores são determinados por (8), (9) e (10). A ondulação de tensão de saída (ΔV) foi especificada em 10% para os LEDs e 1% para a bateria. A resistência dinâmica dos LEDs é de $13,95\Omega$. Então, o capacitor utilizado para os LEDs (C_{LEDs}) é $6,8\mu F$, e o capacitor utilizado para a bateria (C_{bat}) é de $10\mu F$.

$$C_{LEDs_rede} = \frac{D_{max}}{f_s R_d \Delta V} \quad (8)$$

$$C_{LEDs_bateria} = \frac{D_{bat}}{f_{bat} R_d \Delta V} \quad (9)$$

$$C_{bat} = \frac{D_{max} I_{bat}}{f_s V_{bat_min} \Delta V} \quad (10)$$

Onde:

- ΔV - Ondulação da tensão de saída (%).
 R_d - Resistência dinâmica dos LEDs (Ω).

E. Projeto do conversor Buck PFC.

A indutância do conversor buck (L_{buck}) é determinada usando a metodologia apresentada em [18] e [19]. Esta metodologia associa a indutância L_{buck} à indutância L_P do conversor flyback através de uma relação entre a tensão de pico da rede e a tensão do barramento. Os parâmetros principais do projeto são obtidos por (11), (12) e (13). A tensão da rede elétrica é $220 V_{RMS}$. Então, a indutância calculada para o conversor buck é $137\mu H$.

$$m = \frac{V_{in_pk}}{V_{bus}} \quad (11)$$

$$L_{Buck} = \alpha L_P \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{m}{\pi} \left(\frac{\pi m}{2} - \sqrt{1 - \frac{1}{m^2}} - \arcsin\left(\frac{1}{m}\right) \right) \quad (13)$$

Onde:

- V_{in_pk} - Valor de pico da tensão da rede (V).
 m - Relação entre V_{in_pk} e V_{bus} .
 L_{buck} - Indutância do conversor buck (H).
 α - Relação entre L_{buck} e L_P .

O valor do capacitor de barramento é determinado por (14). A ondulação da tensão de barramento (ΔV_{bus}) foi especificada em 4,7%, o que resulta em um valor comercial para o capacitor de $680\mu F$.

A vida útil dos capacitores eletrolíticos geralmente varia entre 1.000 e 15.000 horas dependendo das suas condições de operação, o que é considerada curta se comparada à vida útil dos LEDs, que podem chegar a 50.000 horas. Então, para evitar que a vida útil do capacitor eletrolítico seja o fator limitante da vida útil do sistema completo, o capacitor de barramento empregado é do modelo EPCOS B43501-A2687-M ($680\mu F / 200 V$), o qual poderá operar por até 50.000 horas seguindo as recomendações do seu fabricante [22].

$$C_{bus} = \frac{D_{bat}(V_{LEDs} I_{LEDs} + V_{bat} I_{bat})}{2V_{bus}^2 \Delta V_{bus} f_s \eta} \quad (14)$$

F. Tensão e corrente nos interruptores.

A integração entre os conversores buck e flyback tem característica de sobretensão no interruptor compartilhado (M_1), uma vez que a tensão aplicada em M_1 é o somatório da tensão de pico da rede com a tensão do barramento e a tensão refletida do enrolamento secundário ao enrolamento primário. Assim, a tensão máxima de M_1 ($V_{ds_max_M1}=460 V$) pode ser determinada por (15).

A corrente neste interruptor tem o mesmo valor da corrente que circula pelo enrolamento primário do conversor flyback. Assim, a corrente eficaz em M_1 ($I_{ds_rms_max}=3,27 A$) tem seu maior valor na etapa em que o circuito é alimentado pela bateria, pelo fato de a tensão de entrada ser baixa, e pode ser determinada através de (16).

Para a topologia mostrada na Figura 2.b, a tensão máxima aplicada ao interruptor M_2 ($V_{ds_max_M2}=80 V$) é calculada por (17). A corrente eficaz neste interruptor pode ser calculada utilizando a mesma equação empregada para obter a corrente eficaz em M_1 , porém, utilizando o valor de razão cíclica referente a esta etapa de operação. Então, o valor eficaz para M_2 ($I_{ds_rms_max}=3,5 A$) pode ser determinado por (16).

$$V_{ds_max_M1} = V_{in_pk} + V_{bus} + \frac{V_{LEDs} \sqrt{L_P}}{\sqrt{L_{LEDs}}} \quad (15)$$

$$I_{ds_rms_max} = \frac{2(V_{LEDs} I_{LEDs})}{D_{bat} V_{bat} \eta} \sqrt{\frac{D_{bat}}{3}} \quad (16)$$

$$V_{ds_max_M2} = V_{bat} + \frac{V_{LEDs} \sqrt{L_{aux}}}{\sqrt{L_{LEDs}}} \quad (17)$$

V. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A. Topologia proposta alimentada pela rede.

Da Figura 5 até a Figura 9 são mostrados os resultados experimentais para o circuito da Figura 2.a sendo alimentado pela rede, fora do horário de ponta. A Figura 5 mostra a forma de onda da tensão e da corrente nos LEDs. A corrente nos LEDs se manteve em 706 mA e a potência em 64,9 W.

A tensão e a corrente durante o processo de recarga é mostrado na Figura 6. A tensão no banco de baterias é de aproximadamente 50,5 V_{CC} e a potência é 42,1 W.

A Figura 7 mostra a forma de onda da tensão e da corrente de entrada. A corrente de entrada é aproximadamente zero no instante em que o valor instantâneo da tensão de entrada é menor que a tensão de saída, devido às características do conversor buck operando como estágio PFC. Em função disto, a taxa de distorção harmônica da corrente de entrada (THD) é 21,86 % e o fator de potência é 0,977. A potência de entrada do circuito é 127 W. Então, sua eficiência é de 84,3%. A Figura 8 mostra o conteúdo harmônico da corrente de entrada, o qual atende a norma IEC 61000-3-2 Classe C.

As formas de onda da tensão e da corrente no interruptor são mostradas na Figura 9. O interruptor CoolMOS SPW20N60 é utilizado como M₁ devido a sua baixa resistência de condução (190 mΩ). A corrente de pico neste semiconductor é 8,5 A e o valor RMS é 2,62 A. A tensão de bloqueio permaneceu em aproximadamente 445 V.

Os resultados experimentais para o circuito da Figura 2.b, neste modo de operação, são equivalentes, uma vez que os componentes têm os mesmos valores para ambas as topologias quando o circuito é alimentado através da rede elétrica. Conforme a Figura 10, a corrente nos LEDs permaneceu em 704 mA e a potência na luminária em 64,9 W. A corrente de recarga do banco de baterias é 800 mA e sua tensão é de 52,5 V, como mostrado na Figura 11.

Assim, a potência nesta saída do conversor é de 42 W. A Figura 12 mostra as formas de onda da tensão e da corrente de entrada. Para o circuito alimentado com tensão nominal de 220 V a potência de entrada é de 128 W. Portanto, sua eficiência é de 83,5%.

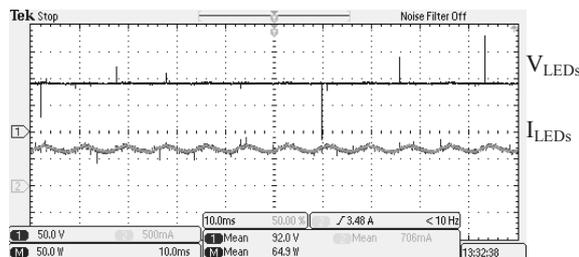


Fig. 5. Forma de onda da tensão e corrente nos LEDs para o circuito alimentado pela rede (50 V/div, 500 mA/div, 10 ms/div).

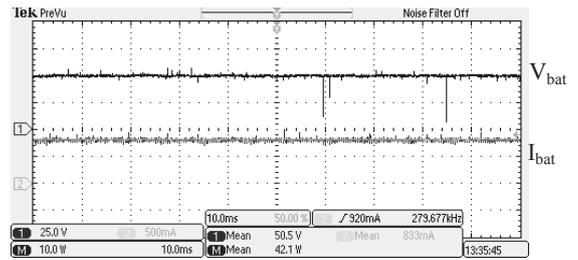


Fig. 6. Forma de onda da tensão e corrente na bateria para o circuito da Figura 2.a alimentado pela rede (25 V/div, 500 mA/div, 10 ms/div).

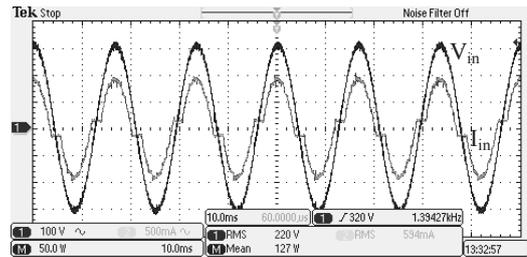


Fig. 7. Tensão e corrente da rede para o circuito da Figura 2.a operando fora do horário de ponta (100 V/div, 500 mA/div, 10 ms/div).

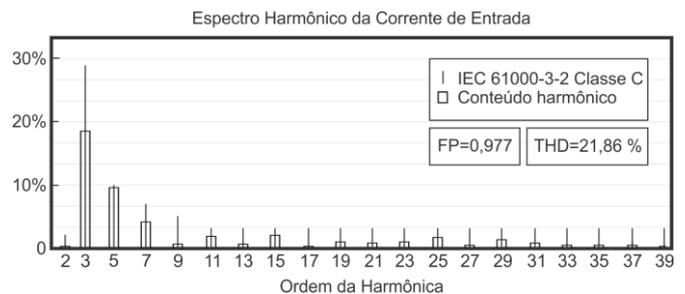


Fig. 8. Conteúdo harmônico da corrente de entrada.

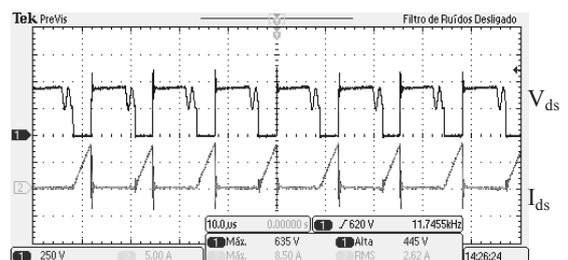


Fig. 9. Forma de onda da tensão e da corrente no interruptor para o circuito da Figura 2.a alimentado pela rede (250 V/div, 5 A/div, 10 μs/div).

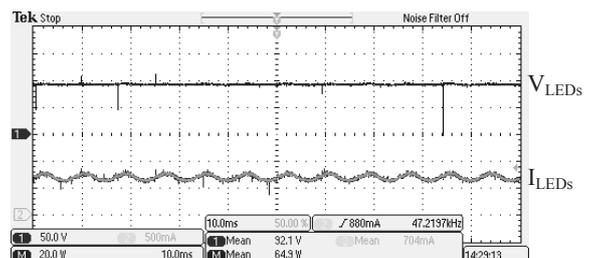


Fig. 10. Forma de onda da tensão e corrente nos LEDs para o circuito da Figura 2.b alimentado pela rede (50 V/div, 500 mA/div, 10 ms/div).

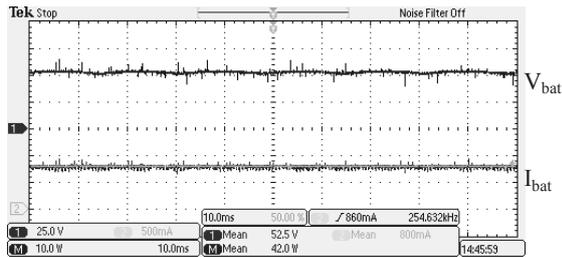


Fig. 11. Forma de onda da tensão e corrente na bateria para o circuito da Figura 2.b alimentado pela rede (25 V/div, 500 mA/div, 10 ms/div).

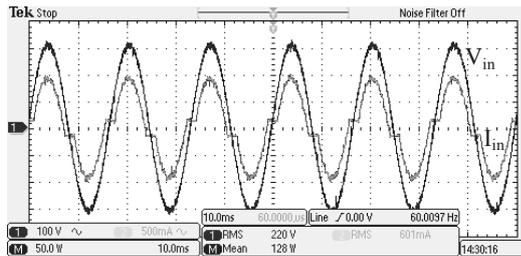


Fig. 12. Tensão e corrente da rede para o circuito da Figura 2.b operando fora do horário de ponta (100 V/div, 500 mA/div, 10 ms/div).

B. Topologia proposta alimentada pela bateria.

Da Figura 13 até a Figura 15 são mostrados os resultados experimentais para a topologia utilizando o enrolamento auxiliar durante o horário de ponta, apresentado na Figura 2.a. A Figura 13 mostra a forma de onda da tensão e da corrente nos LEDs. Os LEDs são alimentados com uma corrente média de 702 mA. A tensão média na luminária é 92,8 V. Portanto, a potência de saída é 65,2 W.

A Figura 14 mostra a forma de onda da tensão e da corrente na bateria. A tensão e a corrente média são 48 V e 1,47 A, respectivamente. A potência de entrada é 68,8 W. Então, a eficiência do circuito é 94,7 %.

A Figura 15 mostra a forma de onda da tensão e da corrente no interruptor M_2 . A corrente de pico no interruptor é aproximadamente 8 A, e o valor RMS é 2,95 A. Para o circuito sendo alimentado pelo banco de baterias não há sobretensão e a tensão aplicada no interruptor é 79V. Então o interruptor IRF640, o qual possui baixa resistência em condução (150 m Ω), é empregado a fim de proporcionar alta eficiência ao circuito.

A Figura 16 mostra a forma de onda da tensão e da corrente nos LEDs para o circuito alimentado pela bateria utilizando apenas um interruptor, conforme a Figura 2.b. A tensão e corrente média nos LEDs são 91,3 V e 719 mA, respectivamente. A potência de saída é 65,7 W. A Figura 17 mostra a forma de onda da tensão e da corrente de entrada (bateria). A tensão média é de 45,8 V e a corrente média é de 1,8 A. Então, a potência de entrada é 82,2 W e a eficiência do circuito é 80%. A Figura 18 mostra a forma de onda da tensão e da corrente no interruptor M_1 . A corrente de pico no interruptor é 7,5 A e o valor RMS é 3,08 A. A Tabela I mostra os principais resultados experimentais das topologias propostas.

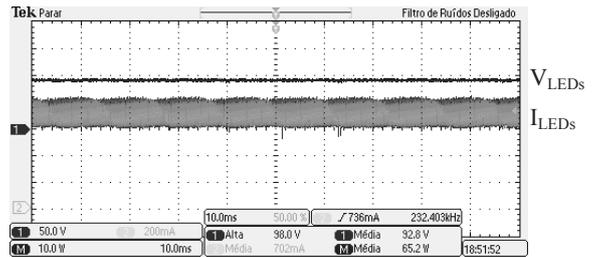


Fig. 13. Forma de onda da tensão e corrente nos LEDs para o circuito alimentado pela bateria através do enrolamento auxiliar (50 V/div, 200 mA/div, 10 ms/div).

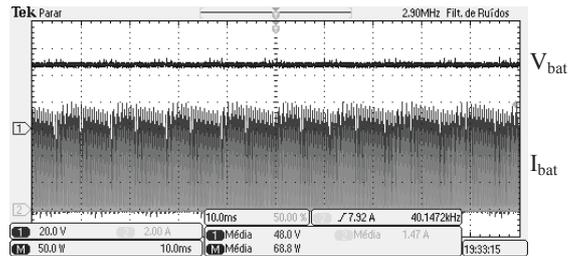


Fig. 14. Forma de onda da tensão e corrente na entrada para o circuito alimentado pela bateria através do enrolamento auxiliar (20 V/div, 2 A/div, 10 ms/div).

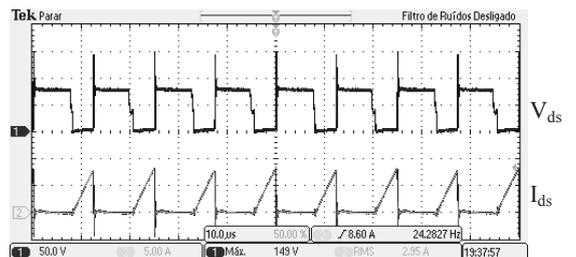


Fig. 15. Forma de onda da tensão e corrente no interruptor M_2 para o circuito alimentado pela bateria através do enrolamento auxiliar (50 V/div, 5 A/div, 10 μ s/div).

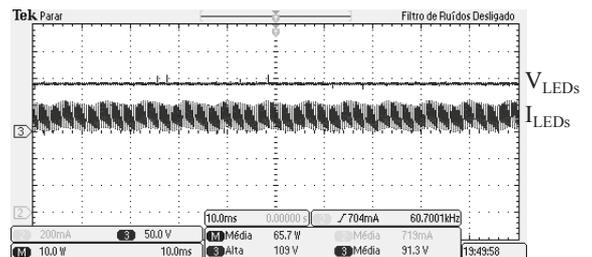


Fig. 16. Forma de onda da tensão e corrente nos LEDs para o circuito alimentado pela bateria utilizando apenas um interruptor (50 V/div, 200 mA/div, 10 ms/div).

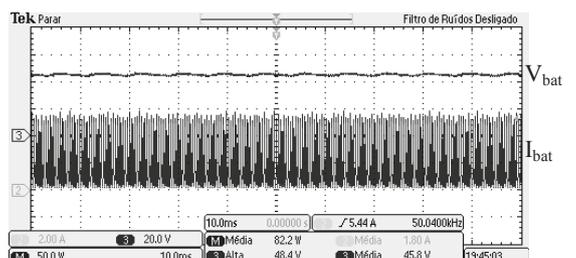


Fig. 17. Forma de onda da tensão e corrente de entrada para o circuito alimentado pela bateria utilizando apenas um interruptor (20 V/div, 2 A/div, 10 ms/div).

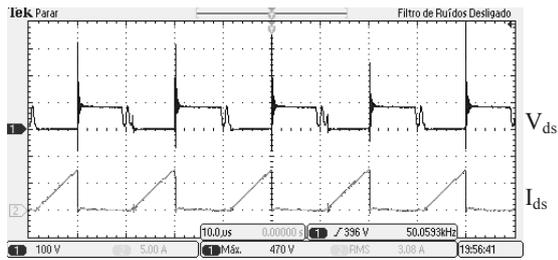


Fig. 18. Forma de onda da tensão e corrente no interruptor para o circuito alimentado pela bateria utilizando um único interruptor (100 V/div, 5 A/div, 10 µs/div).

TABELA I
Resumo dos principais resultados experimentais

	Topologias alimentadas através da rede elétrica		Topologias alimentadas através das baterias	
	BF-L _{aux}	BF-L _P	BF-L _{aux}	BF-L _P
P _{LEDs}	64,9 W	64,9 W	65,2 W	65,7 W
P _{bat}	42,1 W	42,0 W	-	-
P _{in}	127 W	128 W	68,8 W	82,2 W
η	84,3%	83,5%	94,7%	80 %
V _{ds_máx_M1}	445 V	455 V	-	90 V
I _{ds_rms_máx_M1}	2,62 A	2,63 A	-	3,08 A
V _{ds_máx_M2}	-	-	80 V	-
I _{ds_rms_máx_M2}	-	-	2,95 A	-

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um sistema de iluminação pública empregando LEDs como fonte de luz. A principal característica desse sistema é o desenvolvimento de um circuito que alimente os LEDs por uma fonte alternativa de energia (bateria) durante o horário de ponta. Um conversor buck-flyback foi utilizado para alimentar os LEDs pela rede e realizar a carga da bateria, aliando alto fator de potência e alta eficiência utilizando um único interruptor compartilhado. Uma topologia utiliza um enrolamento auxiliar do conversor flyback para alimentar os LEDs pela bateria, enquanto o outro utiliza o mesmo interruptor e enrolamento primário utilizado para alimentar os LEDs a partir da rede. A primeira topologia apresenta maior eficiência. Por outro lado, a segunda topologia utiliza apenas um interruptor, o que simplifica o circuito de comando dos interruptores e, conseqüentemente reduz ainda mais a quantidade de componentes. A metodologia de projeto empregada foi descrita, e os resultados experimentais mostram que o sistema proposto possui alta eficiência, alto fator de potência e atende a norma IEC 61000-3-2 C para o circuito alimentado pela rede elétrica. A autonomia do sistema para uma profundidade de descarga das baterias de 30% é especificada para 3 horas de operação, mantendo o funcionamento do circuito alimentado pela bateria durante o horário de ponta. Além disso, as topologias podem ser também utilizadas como sistema de iluminação de emergência, aumentando a confiabilidade da iluminação pública.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio neste trabalho fornecido pelo CNPq (processo 478676/2009-3), CEEE, PIBIC-EM/UFMS, CAPES/DGU n° 249/11 e pelo auxílio a pesquisa do governo espanhol DGPU PHB2010-0145-PC, bem como a NEWMAX pela doação das baterias utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] T. B. Marchesan, M. Cervi, A. Campos, R. N. do Prado. "A Family of Electronic Ballasts Integrating Power Factor Correction and Power Control Stages to Supply HPS Lamps," *Conference Record of the 41st IAS Annual Meeting*, vol. 3, pp. 1107-1112, 2006.
- [2] J. D. Bullough. "Lighting answers: LED Lighting Systems." *National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute*. Vol. 7, Issue 3, 2003.
- [3] D. A. Steigerwald, et. al. "Illumination With Solid State Lighting Technology", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2002.
- [4] Philips Lumileds. "Case Study: Street Lighting: Lansing Board of Water & Light and Midwest Circuits" Philips Lumileds. <http://www.mclighting.com/CsaeStudy.pdf>
- [5] L. Schuch et. al, "Sistema autônomo de iluminação pública de alta eficiência baseado em energia solar e LEDs", *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, fevereiro de 2011.
- [6] R. A. Pinto, et. al, "A Bidirectional Buck-Boost Converter to Supply LEDs from Battery during the Peak Load Time," *IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2011.
- [7] X. Long; J. Zhou, "An intelligent driver for Light Emitting Diode Street Lighting," *Automation Congress*, pp. 1-5, 2008.
- [8] D.R. Nuttall, R. Shuttleworth, G. Routledge, "Design of a LED street lighting system," *4th IET Conference on Power Electronics, Machines and Drives*, pp. 436 - 440, 2008.
- [9] L. M. F. Morais, P.F. Donoso-Garcia, S. I. Seleme Júnior, P. C. Cortizo, M. A. S. Mendes, "Reator eletrônico para lâmpada de vapor de sódio de alta pressão com alto fator de potência utilizando formas de onda de tensão sintetizadas via PWM", *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, fevereiro de 2008.
- [10] D. Rodovalho, F. V. R. da Silva, E. A. A. Coelho, L. C. de Freitas e J. B. Vieira Júnior, "Proposta de uma topologia de reator eletrônico utilizado para acionar uma ou mais lâmpadas hps com forma de onda de tensão sintetizada", *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, maio de 2009.
- [11] R. A. Pinto, M. R. Cosetin,, T. B. Marchesan, A. Campos, R. N. do Prado, "Lâmpada Compacta Empregando LEDs", *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, v. 14, p. 133-140, 2009.

- [12] T. B. Marchesan, M. D. Costa, M. Perdigão, J. M. Alonso, R. N. Prado, "Analysis and design of two flyback-based integrated converters for the implementation of LFSW electronic ballasts", *Eletrônica de Potência – SOBRAEP*, novembro de 2008.
- [13] M. A. D. Costa, T. B. Marchesan, J. F. da Silveira, R. N. Prado, J. M. Alonso, "Estudo comparativo entre topologias integradas para alimentação de lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão", *Eletrônica de Potência – SOBRAEP*, maio de 2010.
- [14] LUXEON. "LUXEON Rebel: General Purpose White Portfolio". Technical Datasheet DS64, 2010.
- [15] H. Van der Broeck, G. Saüerlander, M. Wendt, "Power Driver Topologies and Control Schemes for LEDs", *Applied Power Electronics Conference (APEC)*, pp. 1319-1325, March 2007.
- [16] W. Dunn, D. Williams, "LED circuit with zener diodes", United States Patent Application Publication, US 2012/0062819 A1, 2011.
- [17] T. B. Marchesan et al, "Double-Flyback Half-Bridge Electronic Ballast to Supply HPS Lamps", *IEEE Industrial Electronics Society Annual Conference*, vol. 1, pp.798-802, 2005.
- [18] M. A. Dalla Costa, et. al, "A Single-Stage High-Power-Factor Electronic Ballast Based on Integrated Buck Flyback Converter to Supply Metal Halide Lamps," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. 1112-1122, 2008.
- [19] Dalla Costa, M. A., Marchesan, T. B., da Silveira, J. S., Seidel, A. R., R. N. do Prado, Alonso, J. M. "Integrated Power Topologies to Supply HPS Lamps: A Comparative Study," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 25, pp. 2124-2132, 2010.
- [20] D. Gacio, M. Alonso, A. Calleja, J. Garcia, M. Rico-Secades, "A Universal-Input Single-Stage High-Power-Factor Power Supply for HB-LEDs Based on Integrated Buck-Flyback Converter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. PP, Issue: 99, pp. 1-1, 2010.
- [21] Battery Council International, "Battery Recycling: Recycling and Sustainability Brochure", <https://battery council.site-ym.com/>, 2012.
- [22] EPCOS – Aluminum electrolytic capacitors, Snap-in capacitors, Series/Type: B43501, Setembro de 2011.

DADOS BIOGRÁFICOS

Rafael A. Pinto nasceu em Santa Maria, Brasil, em 1984. Possui graduação em Engenharia Elétrica (2007), mestrado (2008) e doutorado (2012) pela Universidade Federal de Santa Maria. É professor do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM/UFSM) desde 2009 e pesquisador do grupo GEDRE – Inteligência em Iluminação desde 2002. Suas áreas de interesse são: eletrônica de potência, sistemas de iluminação, conversores CC-CC, iluminação de estado sólido (LEDs). Rafael é membro da SOBRAEP desde 2007.

João G. Roncalio, nascido em 1990 em Passo Fundo, Brasil, é graduando em Engenharia Elétrica pela universidade Federal de Santa Maria desde 2009. É membro do grupo

GEDRE – Inteligência em Iluminação. Suas áreas de interesse são: eletrônica de potência, iluminação de estado sólido (LEDs), sistemas de iluminação, conversores CC-CC.

Marcelo R. Cosetin, nascido em 1985 em Horizontina, Brasil. Recebeu o grau de Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Santa Maria em julho de 2011. Pesquisador do grupo GEDRE - Inteligência em Iluminação desde 2007. No primeiro semestre de 2011 realizou Estágio Curricular Supervisionado junto ao Fraunhofer Institute - IZM - Berlim, Alemanha. Atualmente realiza Mestrado junto ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. Tem como suas principais áreas de pesquisa: iluminação inteligente, LEDs, reatores eletrônicos e iluminação pública.

Tiago B. Marchesan possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2003) e doutorado em Engenharia Elétrica (2007) pela mesma Universidade. Realizou seu doutorado com estágio na Universidad de Oviedo, Espanha. Atualmente é Professor Adjunto do Departamento de Eletrônica e Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, tendo atuado como pesquisador do Grupo WEG (Weg Equipamentos Elétricos S.A.), professor do curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e da Universidade do Noroeste do Estado do RS (UNIJUI). Atua, principalmente, nas seguintes áreas: Projeto e desenvolvimento de reatores eletrônicos para lâmpadas de descarga em alta e baixa pressão, fontes chaveadas, métodos de correção do fator de potência, controle de intensidade luminosa, e em inovações na área de transformadores de potência (Grupo WEG T&D).

Marco Antonio Dalla Costa, nascido em 03/10/1978 em Santa Maria – RS, possui graduação em Engenharia Elétrica e Mestrado em Eletrônica de Potência pela Universidade Federal de Santa Maria (2002 e 2004, respectivamente). Finalizou o curso de doutorado na Universidad de Oviedo - Espanha em fevereiro de 2008, obtendo as qualificações de "Sobresaliente Cum Laude", "Doctorado Europeo" e também recebendo o título de "Premio Extraordinario de Doctorado". Atualmente, é Professor Adjunto na Universidade Federal de Santa Maria. É autor de mais de 20 artigos completos publicados em periódicos internacionais Qualis A1, e mais de 60 artigos científicos publicados em congressos internacionais e nacionais. É revisor dos seguintes periódicos: Electronics Letters, IEEE Transactions on Plasma Science, IEEE Transactions on Industrial Electronics, IEEE Transactions on Power Electronics e Revista Eletrônica de Potência (SOBRAEP). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Eletrônicos, atuando principalmente nos seguintes temas: LED drivers, electronic ballasts (reatores eletrônicos), self-oscillating drivers, dimming de lâmpadas de descarga de alta e baixa pressão, ressonâncias acústicas e eficiência de circuitos eletrônicos.

J. Marcos Alonso, nascido em 27/09/1967 em Gijón – Espanha, possui graduação em Engenharia Industrial e Doutorado pela Universidad de Oviedo, em 1990 e 1994, respectivamente. De 1990 a 1994 trabalhou como Professor Assistente no Departamento de Eletrônica da Universidade de Oviedo. De 1997 a 2007 trabalhou como Professor Associado no mesmo departamento, onde desde 2007 é Professor Catedrático.

Prof. Alonso é primeiro autor de mais de setenta artigos publicados em congressos internacionais e revistas de eletrônica de potência; e é co-autor de mais de duzentos artigos. Seus tópicos de interesse incluem: reatores eletrônicos de alta frequência, modelagem de lâmpadas de descarga, conversores eletrônicos para geração de ozônio, conversores eletrônicos para aplicações eletrostáticas, topologias para correção do fator de potência, e conversores estáticos de alta frequência em geral. Prof. Alonso é orientador de seis teses de doutorado na área de eletrônica de potência e possui seis patentes espanholas concedidas.

Prof. Alonso foi premiado pelo governo espanhol no Programa de Intensificação de Atividades de Pesquisa, no período de 2008-2012. Também recebeu o prêmio intitulado Early Career Award, do IEEE Industrial Electronics Society em 2006. Recebeu o prêmio best paper award em 2009 no congresso IEEE International Symposium on Industrial Electronics, também o second prize paper award em 2005 no congresso IEEE Industry Applications Society Meeting, Production and Application of Light Committee, e também o prêmio IEEE Industrial Electronics Society Meritorious Paper Award, em 1996.

Dr. Alonso é membro ativo do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), onde colabora como revisor de periódicos, chairman em congressos, organizador de sessões especiais, entre outras atividades. Desde outubro de 2002 colabora como Editor Associado no IEEE Transactions on

Power Electronics no tema de Aplicações de Iluminação. Também colaborou como Guest Editor no Special Issue on Lighting Applications, publicado na IEEE Transactions on Power Electronics, em maio de 2007. Também é membro do European Power Electronics Association e pertence ao International Steering Committee of the European Conference on Power Electronics and Applications (EPE), onde normalmente colabora como topic co-chair. Também é membro do International Ozone Association (IOA).

Ricardo N. do Prado, nascido em Itapiranga-SC em 1961. Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em 1984. Mestrado e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 1987 e 1993, respectivamente. Em 1986 trabalhou como Professor Substituto na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). De 1987 a 1992 trabalhou como Professor Assistente na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Desde 1993 está com a Universidade Federal de Santa Maria, onde atualmente é Professor Associado junto ao Departamento de Processamento de Energia Elétrica. De 2005 a 2006 realizou estágio pós-doutoral junto ao Fraunhofer Institute, Alemanha. É autor de mais de 250 artigos técnicos publicados em congressos e revistas nacionais e internacionais. Seus tópicos de interesse incluem: conversores estáticos, lâmpadas de descarga de alta e baixa pressão, eficiência luminosa, reatores eletrônicos, LEDs como fontes de luz e correção do fator de potência. Dr. Prado é membro fundador da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência, membro da Sociedade Brasileira de Automática e de várias sociedades da IEEE. Também é revisor da Revista Eletrônica de Potência, Revista Brasileira de Automática e de várias revistas da IEEE.