

# CARREGADOR DE BATERIAS DE ÍON-LÍTIO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS INTEGRADO A GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Jesiel da Luz Ferro – jesiel.ferro@gmail.com

Ivo Barbi – ivobarbi@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Automação e Sistemas – Fotovoltaica UFSC

**Resumo.** Este artigo apresenta uma proposta para um carregador de baterias de íon-lítio que fará o carregamento lento de um banco de baterias estacionárias a partir da rede elétrica trifásica. A rede elétrica, presente no local de carregamento, provém da concessionária. Porém, como a estrutura dos prédios é coberta por módulos fotovoltaicos que geram créditos para o consumidor, é possível afirmar que as baterias são carregadas a partir da energia solar. O banco de baterias estacionárias fará o armazenamento de energia e será utilizado posteriormente para fazer a carga rápida do ônibus elétrico desenvolvido pelo grupo Fotovoltaica UFSC. O carregador proposto é simples, robusto e possui um alto fator de potência, sendo composto por dois estágios: o primeiro estágio faz a retificação CA-CC através de um retificador 12 pulsos; o segundo, a conversão CC-CC utilizando um conversor buck interleaved, adequando a corrente e a tensão de carregamento das baterias. Os projetos de potência e controle do carregador foram realizados através de cálculos e validado realizando simulações. Posteriormente, será elaborado um protótipo e através da realização de estudos experimentais os resultados serão analisados e apresentados.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Carregador de Baterias, Ônibus Elétrico

## 1. INTRODUÇÃO

A sociedade atual é imensamente dependente de energia e o desenvolvimento econômico mundial está diretamente ligado aos fatores energéticos. Como muitas das fontes de energia são poluentes ou perigosas e não são renováveis, a busca por fontes renováveis de geração de energia elétrica surge como alternativa para redução da poluição atmosférica e também para redução de custos.

Com isso, as fontes renováveis de energia estão sendo cada vez mais utilizadas no Brasil e no mundo. Estas podem ser aplicadas em sistemas de armazenamento com baterias ou em sistemas que alimentam cargas e inserem energia para a rede elétrica vinda da concessionária quando a geração é superior a demanda necessária. Dentre as fontes renováveis, a solar apresenta-se como uma das principais fontes alternativas. Contudo, sua produção é intermitente, já que a mesma depende das condições climáticas (radiação solar) (Correia, 2016). Como solução, são utilizados sistemas de armazenamento de energia (ESS). A implementação destes sistemas numa fonte renovável permite aumentar a previsibilidade da produção, pois armazena o excedente de energia num determinado período e descarrega quando ocorrer falta de energia (Correia, 2016).

Assim, devido a essa necessidade de reduzir a emissão de gases poluentes gerada por automóveis a combustão, os veículos elétricos são uma alternativa crescente no mercado mundial. A produção de veículos elétricos está cada vez maior e estima-se que, em 2025, os carros elétricos já representem 15% do mercado mundial; hoje, eles são apenas 0,86% (ABVE, 2017).

No Brasil, apesar de o número de veículos elétricos ainda não ser tão significativo, a busca por este tipo de automóvel também vem aumentando. Segundo a ABVE (Associação Brasileira de Veículo Elétrico), automóveis autônomos e elétricos, mobilidade, conectividade e análise de dados são as principais tendências na indústria automotiva brasileira até 2025 (ABVE, 2017). Em Santa Catarina, uma rede de recarga para carros elétricos já está estabelecida com pontos em cinco shoppings da região, além dos anteriormente instalados, localizados em Araquari e no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (ABVE, 2017).

Os veículos elétricos possuem baterias como fonte de energia, sendo que estas precisam ser carregadas constantemente. Para isso, são utilizados carregadores de baterias, que podem ser CA-CC ou CC-CC. Em ambos os casos, é necessário que haja o carregamento de baterias a partir de uma fonte de energia externa.

Conhecendo estas informações, o grupo Fotovoltaica UFSC, que possui um laboratório localizado no Sapiens Park (Florianópolis- SC), elaborou o projeto de um ônibus elétrico que é abastecido através de energia fotovoltaica. O ônibus, que está operando diariamente, é mostrado na Fig. 1, sendo carregado em seu ponto de abastecimento.



Figura 1 – Ônibus Elétrico da UFSC

Agora, um projeto de P&D está sendo financiado pelo grupo ENGIE, o qual envolve a criação de um novo carregador de baterias que aproveitará a energia proveniente de painéis fotovoltaicos. Este carregador será aplicado para este e também para novos veículos que possam surgir em projetos futuros. O mesmo terá potência de 12 kW e fará a carga lenta de um banco de baterias de íon lítio. O banco de baterias estará sobre uma estrutura móvel, possibilitando a movimentação para outros locais e, após ser carregado, estará disponível para que se conecte um carregador rápido que extraia sua carga e a transfira para as baterias presentes no ônibus elétrico. A grande vantagem de se fazer a carga lenta de baterias é a diminuição da potência extraída da rede durante o processo de carregamento das mesmas.

Deste modo, o presente trabalho compreende, com relação ao armazenamento, a utilização de baterias de íon lítio que possuem como vantagem a elevada densidade de energia, sendo possível armazenar uma grande quantidade de energia em baterias pequenas e leves.

## 2. BATERIAS DE ÍON LÍTIO

Hoje, as baterias de íon-lítio possuem a química mais promissora dentre os diferentes tipos de baterias. Sendo o metal mais leve e o elemento mais eletronegativo, o lítio é o material de eletrodo negativo mais atraente para baterias de alta energia. Baterias que usam ânodos de metal de lítio são capazes de fornecer tanto alta tensão (tensão nominal de 3,7 V, tensão de carga em torno de 4,2 V e tensão mínima de 2,5 V) quanto excelente capacidade de armazenamento, resultando em uma alta densidade de energia.

As baterias de íon-lítio também possuem auto descarga relativamente baixa (2 a 8% por mês) e exigem baixa manutenção. Sua vida útil é longa e recomenda-se que as mesmas operem dentro de certa faixa de temperatura de 0°C a 45°C para prolongar a vida da bateria. Vale ressaltar que as células de íon-lítio ainda causam menos danos quando descartadas do que as de chumbo-ácido ou baterias à base de cádmio (Breucker, 2012).

Apesar de muitas vantagens, as baterias de íon-lítio também têm as suas desvantagens: são mais caras de se fabricar e requerem um circuito de proteção para manter uma operação segura (*Battery Management System* - BMS). O BMS limita a máxima corrente de carga e descarga e também monitora a tensão de carregamento para que a mesma não ultrapasse o valor máximo permitido pela bateria e não fique abaixo do valor mínimo recomendável. Além disso, a temperatura da célula é monitorada para prevenir temperaturas extremas e evitar danos físicos à bateria. (Breucker, 2012).

Devido aos riscos que as baterias de íon-lítio podem trazer para os usuários, faz-se necessário projetá-las com requisitos de segurança, além de exigir um sistema de proteção que faça a monitorização das grandezas fundamentais que garantam a proteção das mesmas. Quanto ao projeto, devem ser escolhidos materiais de cátodo, ânodo, separador e aditivos que garantam máxima segurança à célula (Scrosati e Garche, 2010). Já com relação à proteção, a célula deve contar com um dispositivo de interrupção do circuito (DIC) e um respiradouro de segurança para proteger a célula contra pressões excessivas (Mikolajczak, 2011).

## 3. CARREGADOR PROPOSTO

Atualmente, encontram-se variadas topologias de carregadores de baterias. As aplicações que exigem uma potência mais elevada geralmente são desenvolvidas para veículos elétricos. Estes carregadores podem ser CA-CC ou então CC-CC. Ao contrário deste trabalho, a maioria dos carregadores CA-CC já fazem a carga direta nas baterias presentes nos veículos elétricos. Porém, a intenção deste projeto é fazer uma carga lenta em baterias estacionárias para que posteriormente estas baterias possam fazer uma carga rápida nas baterias presentes no ônibus elétrico.

A alimentação do carregador será feita pela rede elétrica trifásica, com tensão de 220/380 V e frequência de 60 Hz. Já o banco de baterias que será carregado é composto por baterias do modelo P140 da Mitsubishi, sendo que cada célula possui uma tensão nominal de 3,7 V, podendo variar de 2,7 V até 4,15 V.

O banco de baterias é composto por 6 packs, com 2 packs ligados em série. Estes 2 packs estão em paralelo com mais 2 grupos de 2 packs em série. Cada pack possui 11 módulos em série e cada módulo possui 8 células em série. Individualmente, os packs possuem uma capacidade nominal de 50 Ah, sendo que a tensão nominal é de 325,6 V. Assim, a capacidade de energia equivale a 16,26 kWh em cada pack. O banco de baterias, por sua vez, possui uma

capacidade de energia de 97,68 kWh (6 packs) e sua tensão nominal é de 651,2 V, podendo variar entre 475,2 V e 730,4 V.

Um diagrama completo é apresentado na Fig. 2. Observa-se que a energia necessária para o carregamento das baterias é proveniente de rede elétrica. Vale ressaltar que os painéis fotovoltaicos injetam energia na rede e geram créditos ao consumidor. Assim, pode-se afirmar que o banco de baterias é carregado indiretamente pelos painéis fotovoltaicos.

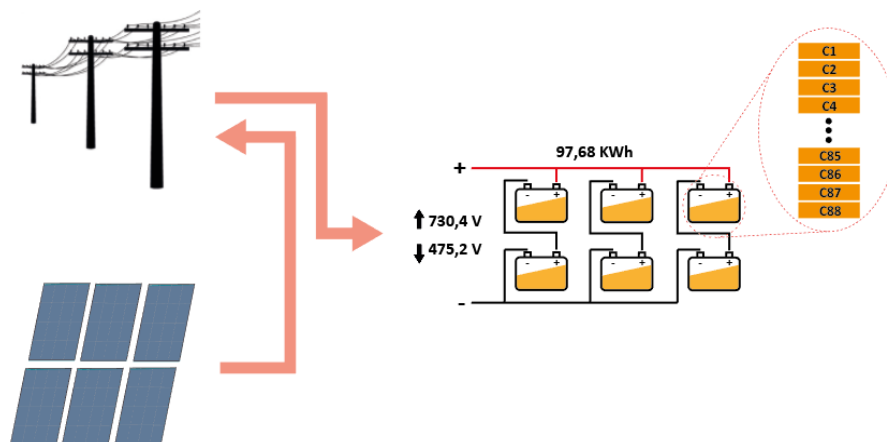


Figura 2 – Diagrama representativo do carregamento do banco de baterias

O tempo de carregamento previsto para uma carga completa do banco de baterias é de aproximadamente 10h. Portanto, a escolha foi utilizar um carregador com potência nominal de 12 kW para atender as necessidades de projeto. Além disso, o carregador deve fazer o isolamento galvânico entre a rede e as baterias, ser simples, robusto e possuir um alto fator de potência e uma baixa taxa de distorção harmônica.

A topologia escolhida para o carregador é apresentada na Fig. 3. A mesma utiliza um retificador de 12 pulsos na entrada com dois conversores de 6 pulsos ligados em série para elevar a tensão de saída. Após o estágio retificador, um conversor *buck interleaved* é utilizado para fazer a adequação e o controle da tensão e da corrente para o carregamento do banco de baterias.

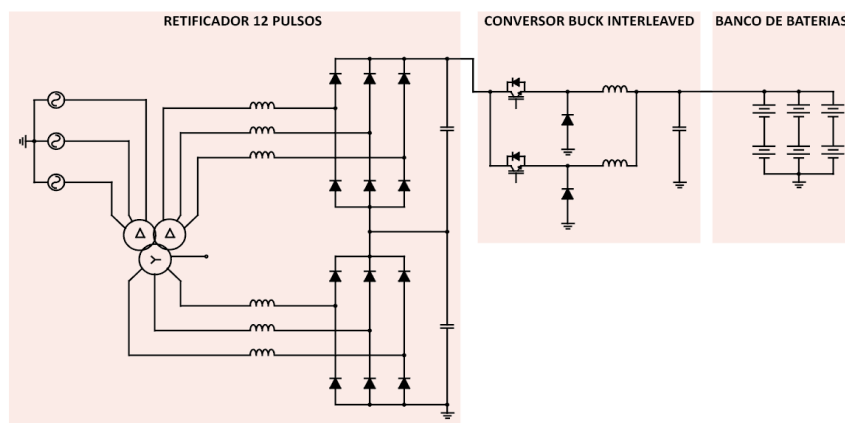


Figura 3 – Circuito do carregador de baterias

### 3.1 Retificador 12 pulsos

Um retificador possui a função de converter uma tensão alternada de entrada para uma tensão contínua na sua saída, sendo que ondulação da tensão de saída será proporcional ao número de pulsos da tensão CA refletida no lado CC. Assim, quanto maior o número de pulsos, maior será a qualidade da tensão de saída e melhor será a qualidade da corrente de entrada. Estas características facilitam a filtragem e diminuem os elementos passivos empregados.

Para obtenção de um elevado número de pulsos na saída de um retificador e, conseqüentemente, uma menor ondulação da tensão de saída, utilizam-se variadas topologias. Uma delas, que é bastante empregada, é o retificador de 12 pulsos formado por dois conversores de 6 pulsos (Fukuda, 2008). Nesta, os retificadores de 6 pulsos são alimentados por tensões de mesmo valor eficaz e defasadas de  $30^\circ$ . Como resultado, a corrente de entrada apresentará em seu espectro harmônico apenas frequências de ordem  $12n+1$ , onde  $n$  é um número inteiro (1, 2, 3...) (Meng, 2015).

A associação dos retificadores de 6 pulsos pode ser feita em série ou em paralelo. A associação em série é normalmente empregada em situações que se deseja uma tensão CC de saída elevada. Já associação em paralelo é empregada quando a carga exige uma corrente elevada. No circuito série, a tensão CC total apresenta uma ondulação em 720 Hz e uma variação pico a pico de apenas 3% do valor CC.

### 3.2 Conversor *buck interleaved*

Um conversor CC-CC tem a função de converter a tensão em sua entrada em uma tensão da saída que pode ser regulada conforme a necessidade. O valor médio da tensão de saída é proporcional ao tempo no qual a saída fica ligada em relação à entrada. A conversão desta tensão é feita com a aplicação de um capacitor, um indutor e um dispositivo de estado sólido que opere em alta frequência. Dentre os conversores CC-CC, a topologia *buck* é a que converte a tensão contínua de entrada em uma tensão de saída com valor mais baixo.

Os conversores CC-CC podem ser associados em paralelo. Esta ideia foi proposta originalmente como uma forma de superar as limitações tecnológicas dos componentes, sendo denominada conversão *interleaved*. Recentemente, esta técnica é muito aplicada na correção do fator de potência (PFC) de fontes chaveadas (García, 2006).

Na conversão *interleaved*, diversos conversores podem ser interconectados, sendo que a frequência de chaveamento é a mesma para todos, mas os pulsos de disparo são defasados. Esta técnica reduz a amplitude da ondulação e aumenta a frequência de ondulação efetiva do conversor sem aumentar as perdas de comutação ou as tensões do dispositivo. Portanto, um sistema *interleaved* exige menores requisitos de armazenamento de energia e filtragem, resultando em densidades de conversão de potência muito melhores (Baba, 2012) e, ainda, permite a divisão de corrente entre as chaves principais da estrutura, diminuindo os esforços sobre as mesmas. Logo, esta conexão é geralmente projetada para aplicações de alta potência.

## 4. DIMENSIONAMENTO

O carregador de baterias projetado irá impor uma corrente constante no banco de baterias até que as mesmas fiquem completamente carregadas. Como a potência nominal estabelecida foi de 12kW e a tensão máxima do banco é de 730,4 V, a corrente de carga será de 16,4 A. Portanto, as especificações de projeto são:

- Potência nominal – 12 kW;
- Tensão de linha eficaz – 380 V;
- Frequência da rede – 60 Hz;
- Tensão máxima no banco de baterias – 730,4 Vcc;
- Tensão mínima no banco de baterias – 475,2 Vcc;
- Corrente de carga da bateria – 16,4 A;
- Frequência de chaveamento – 20 kHz;
- Ondulação da tensão de saída – 1%;
- Ondulação da corrente de saída – 10%.

### 4.1 Transformador

O transformador utilizado para projeto terá entrada conectada em Delta e dois secundários, sendo um deles conectado em Delta e outro em Estrela para que haja a defasagem de 30° entre as tensões. Inicialmente, conhecendo a tensão máxima do banco de baterias, definiu-se a tensão mínima de entrada do conversor (tensão de saída do retificador) em 800 Vcc, isso para garantir que o conversor opere em uma zona confortável de comutação, ou seja, sua razão cíclica não fique muito próxima de um (1). A partir do valor mínimo de tensão, foi possível definir o valor da tensão nominal em 940 Vcc, já que a tensão de saída do retificador depende da tensão da rede e pode sofrer variações. Logo, garante-se que, quando a tensão da rede sofrer uma variação de -15% na tensão nominal, a tensão de saída do retificador será 800 Vcc.

Conhecendo a tensão de saída nominal do retificador, foi possível encontrar a relação de espiras do transformador após definir o valor da tensão nominal de cada retificador, aplicando-se a Eq. (1). Esta equação define a tensão de saída de um retificador 6 pulsos em função da tensão de fase de entrada do mesmo.

$$V_{cc} = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot V_a}{\pi} \quad (1)$$

A tensão de linha de saída encontrada de cada secundário do transformador foi de 350 V, considerando que o transformador seja ideal. Após simulações com valores reais de resistências e indutâncias de dispersão no transformador, foi verificado que a tensão de saída do transformador deveria ser de 370 V para compensar as quedas de tensões causadas pelo transformador.

Optou-se, neste projeto, utilizar indutores na parte de baixa frequência antes da ponte retificadora. Estes indutores serão colocados nas fases de entrada das duas pontes retificadoras. O indutor de entrada causará uma queda de tensão na

saída do retificador, sendo que, quanto maior sua indutância, maior será a queda de tensão. Porém, este mesmo indutor contribui para reduzir a taxa de distorção harmônica gerada pelo carregador. Neste caso, quanto maior o indutor, menor será a taxa de distorção harmônica. A partir destas informações, percebe-se que é necessário encontrar um indutor que atenda os dois requisitos, deixando a taxa de distorção harmônica dentro das normas e também que não reduza consideravelmente a tensão de saída.

Então, para escolha do indutor de entrada foram realizadas simulações variando a potência do sistema e, em sequência, foram traçadas as curvas da tensão de saída e da taxa de distorção harmônica em relação a corrente de saída do retificador de 12 pulsos para diferentes tamanhos de indutores. Depois de serem realizadas as simulações, o valor da indutância definida para cada indutor foi de 1 mH.

#### 4.2 Conversor

Conforme apresentado anteriormente, optou-se pela escolha de um conversor *buck* com a técnica *interleaving* a fim de reduzir a ondulação da corrente de saída e também os esforços nos componentes. Conhecendo o ganho estático do conversor que é dado pela Eq. (2), verifica-se que a razão cíclica irá ser máxima quando a tensão de saída for máxima (730,4 V) e a tensão de entrada for a mínima (800 V). Já o valor mínimo de razão cíclica irá acontecer quando a tensão de saída for mínima (475,2 V) e a tensão de entrada for máxima (1080 V). Logo, conclui-se que a razão cíclica (D) do conversor irá variar entre 0,44 e 0,913.

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad (2)$$

O conversor *buck interleaved* deste projeto terá apenas dois conversores em paralelo, já que a corrente de saída não é muito elevada. Portanto, com dois conversores, a análise da ondulação da corrente de saída deve ser feita para dois intervalos diferentes de razão cíclica, isto é, para o intervalo de razão cíclica entre 0 e 0,5 e para o intervalo entre 0,5 e 1. Para cada intervalo de razão cíclica, as chaves serão comutadas conforme apresenta a Tab 1.

Tabela 1 – Posição dos IGBTs em função da razão cíclica e do intervalo de tempo

Intervalo de tempo	0 < D < 0,5		0,5 < D < 1,0	
	IGBT1	IGBT2	IGBT1	IGBT2
Intervalo t1	ON	OFF	ON	ON
Intervalo t2	OFF	OFF	ON	OFF
Intervalo t3	OFF	ON	ON	ON
Intervalo t4	OFF	OFF	OFF	ON

Os circuitos equivalentes para cada intervalo e as formas de onda da tensão sobre os IGBTs, da corrente de saída sobre os indutores, bem como a tensão sobre os indutores são ilustradas na Fig. 4.

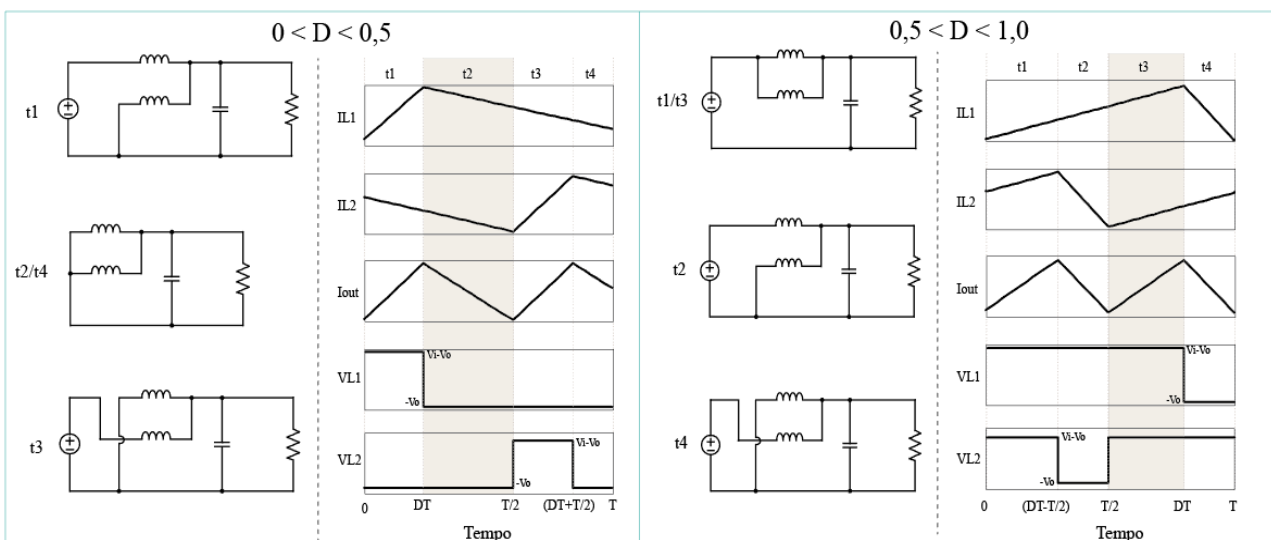


Figura 4 – Circuitos equivalentes do conversor *buck interleaved* e suas respectivas formas de onda

Conhecendo a Eq. (3) que apresenta a tensão sobre o indutor, faz-se as análises para diferentes intervalos de razão cíclica a fim de se obter as equações referentes a ondulação de corrente de saída.

$$V_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (3)$$

Para encontrar a equação da ondulação da corrente de saída com  $0 < D < 0,5$ , foi analisado o intervalo t2, o qual a tensão sobre os dois indutores equivale a “-Vo” e o intervalo de tempo é igual a “T/2-DT”, sendo que a indutância equivalente é “L/2”. Deduzindo as equações e parametrizando a ondulação de corrente, foi obtida a Eq. (4).

$$\overline{\Delta i_{out}} = -2D^2 + D \quad (4)$$

Já para  $0,5 < D < 1,0$ , o intervalo de tempo analisado foi intervalo t1, onde a tensão sobre os indutores equivale a “Vi-Vo” e o intervalo de tempo é igual a “DT-T/2”. Assim como anteriormente, a indutância equivalente é igual a “L/2”. Deduzindo as equações e parametrizando a ondulação de corrente foi encontrada a Eq. (5).

$$\overline{\Delta i_{out}} = -2D^2 + 3D - 1 \quad (5)$$

Plotando as curvas referentes da ondulação da corrente de saída parametrizada em função da razão cíclica, é possível verificar que a ondulação varia da mesma forma para valores de razão cíclica maior e menor que 0,5. Também é possível comprovar que a ondulação será menor quando comparada com um conversor *buck* que não utiliza a técnica *interleaved*. Na Fig. 5, são mostradas as curvas referentes a ondulação da corrente parametrizada de saída para o conversor *buck* simples (vermelho) e do conversor *buck* com dois conversores em paralelo (azul).

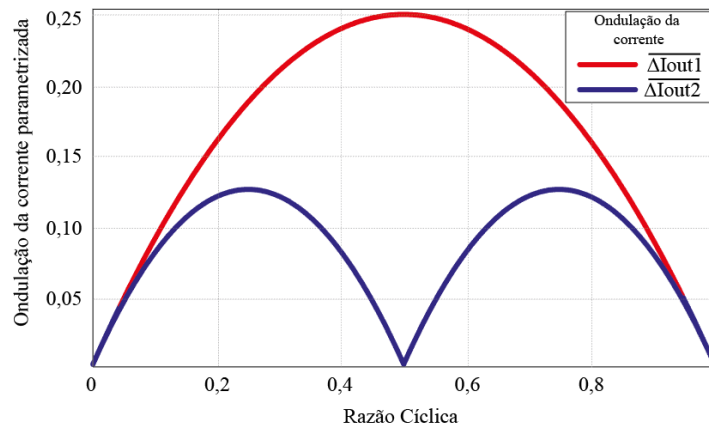


Figura 5 – Variação da ondulação da corrente parametrizada em função da razão cíclica

Com as especificações de projeto definidas e com os valores de corrente máxima de saída e da ondulação máxima da corrente de saída encontrados, chega-se ao valor da indutância (3,58 mH) do conversor através da Eq. (6).

$$L_o = \frac{\Delta I_{out\_max} \cdot V_{cc}}{f_s \cdot I_{out} \cdot \Delta I_{out}} \quad (6)$$

O valor da capacitância de saída (725 nF) pode ser encontrado observando as formas de onda da corrente sobre o capacitor e fazendo a decomposição pela série de Fourier. Assim, chega-se a Eq. (7).

$$C_o = \frac{V_{cc}}{N_{int}^2 \cdot \pi^3 \cdot L_o \cdot f_s^2 \cdot V_{o\_max} \cdot \Delta V_o} \quad (7)$$

## 5. RESULTADOS OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES

Após a etapa de dimensionamento, foram realizadas simulações para validação dos cálculos e dos modelos obtidos. Conforme mencionado nas especificações de projeto, a ondulação da corrente de saída deveria ser de 10% e a ondulação de tensão igual a 1% do valor nominal. Com o indutor e o capacitor de saída definidos, foram realizadas

simulações do carregador de baterias com carga resistiva e os resultados obtidos foram os esperados. A corrente de saída, conforme especificado, tem seu valor médio em 16,4 A. Na simulação, foi verificado que a ondulação da corrente de saída na potência nominal varia entre 15,6 A e 17,2 A, isto significa 10% do valor nominal da corrente. A tensão de saída ficou com seu valor médio de 730,4 V, sendo que a ondulação variou de 726 V a 733 V, totalizando 1% do valor nominal.

A Fig. 6 traz as formas de onda da corrente em cada indutor de saída e também a corrente de saída antes e depois da filtragem feita pelo capacitor. No último gráfico, está apresentada a forma de onda da tensão de saída.

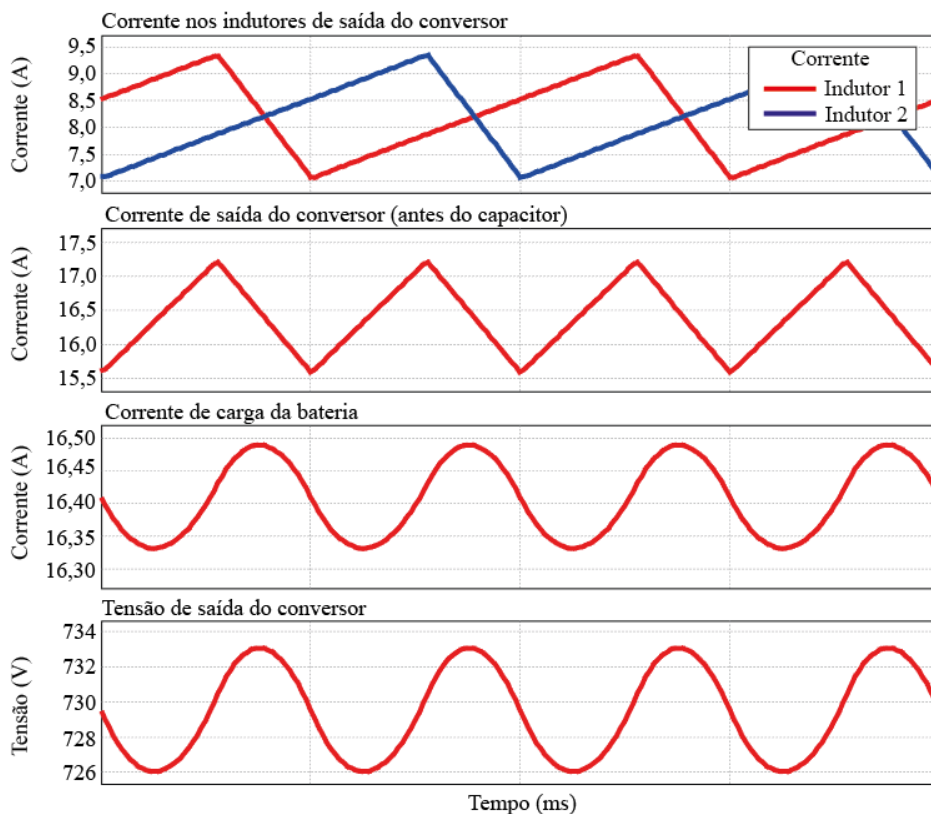


Figura 6 – Formas de onda da corrente e da tensão na saída do conversor

O fator de potência e a taxa de distorção harmônica da corrente de entrada obtidos nas simulações atenderam as normas. O fator de potência atingiu aproximadamente 0,97, sendo que a norma da ANEEL exige de um consumidor o fator de potência maior ou igual a 0,92. A taxa de distorção harmônica, por sua vez, foi de aproximadamente 7% e a norma IEEE 519 para equipamentos com corrente de curto circuito ( $I_{cc}$ ) e corrente da componente fundamental ( $I_o$ ) com estas características exige um valor de 8%. A Fig. 7 mostra a forma de onda da corrente de entrada.

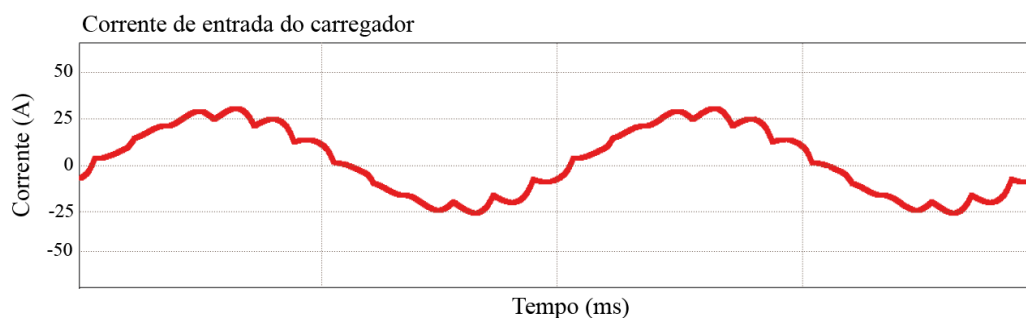


Figura 7 – Forma de onda da corrente de entrada do carregador

Para o carregamento de baterias de íon-lítio, a técnica convencional empregada é composta por duas etapas. A primeira etapa é um carregamento de corrente constante, onde a corrente de carga deve permanecer constante até atingir a tensão nominal do banco de baterias. Já na segunda, a tensão deve permanecer constante até a extinção da corrente. Quanto maior for a corrente usada na primeira etapa, menor será o tempo de carregamento. Porém, devem ser respeitados os limites especificados pelos fabricantes das baterias.

A Fig. 8 apresenta as curvas da corrente e da tensão de carregamento obtidas nas simulações após obtenção dos modelos referentes ao carregador e as baterias. Primeiramente, é feito o controle da corrente de carga e a mesma permanece constante até o instante em que a tensão atinge o valor pré-estabelecido. Após esta etapa, a tensão passa a ser controlada e permanece constante até o final do carregamento. Nota-se que, nesta etapa, a corrente começa a decrescer até se tornar nula.

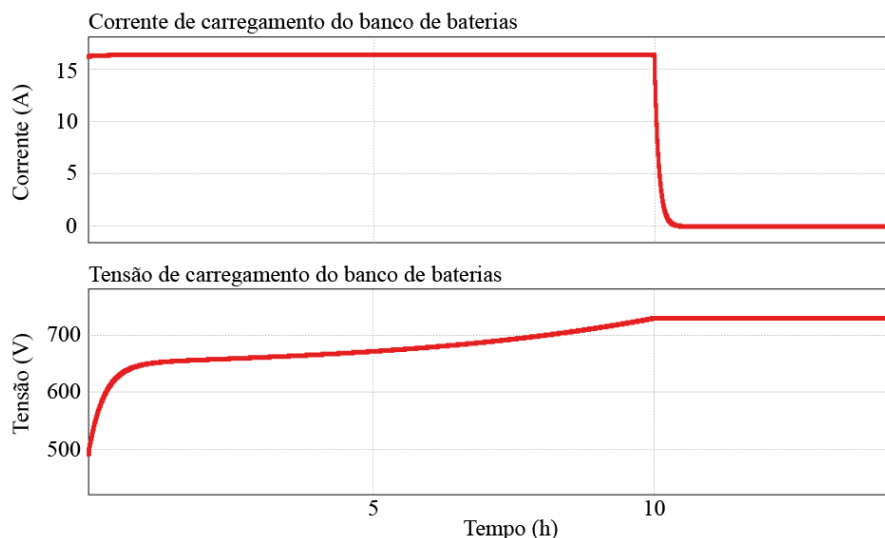


Figura 8 – Tensão e corrente de carregamento do banco de baterias

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi projetar e desenvolver um carregador de baterias de 12 kW com alta robustez e eficiência para fazer o carregamento lento de um banco de baterias utilizado para armazenar energia proveniente dos módulos fotovoltaicos disponibilizando, por fim, energia para o ônibus elétrico. Conhecendo as limitações e especificações do projeto, foi possível definir a topologia do carregador de baterias. A partir da topologia, foram feitos estudos e análises dos estágios de potência baseados em livros e artigos acadêmicos e, após, foram desenvolvidos os cálculos para dimensionamento dos componentes e também simulações para validação e otimização dos resultados. As simulações do estágio de potência e do controle do carregador já foram validadas e finalizadas. Já o protótipo deste projeto ainda está em fase de desenvolvimento. Portanto, ao final da montagem e dos testes de laboratório, que tem previsão de serem finalizados em fevereiro de 2018, haverá novos resultados para serem analisados e discutidos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao grupo ENGIE pelo financiamento do projeto.

### REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), 2017. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/noticias/carros-eletricos-ja-nao-sao-mais-coisa-do-futuro-a-disrupcao-esta-proxima>>
- Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), 2017. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/noticias/as-principais-tendencias-na-industria-automotiva-brasileira-ate-2025>>
- Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), 2017. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/noticias/santa-catarina-estabelece-rede-de-recarga-para-eletricos-em-shoppings>>
- Correia, T. A. L. T., 2016. Sistemas de Armazenamento de Energia Integrados em Centrais Fotovoltaicas, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Breucker, S. D., 2012. Impact of DC-DC converters on li-ion batteries, Tese de Doutorado, Universidade Católica de Leuven, Lovaina, Bélgica.
- Scrosati, B., Garche, J., 2010. Lithium batteries: Status, prospects and future, Journal of Power Sources, n. 195, pp. 2419–2430.
- Mikolajczak, C., Michael Kahn, M., White, K., Long, R. T., 2011. Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment, Fire Protection Research Foundation, Quincy, Estados Unidos.



- Fukuda, S., Ohta, M., Iwaji, Y., 2008. An Auxiliary-Supply-Assisted Harmonic Reduction Scheme for 12-Pulse Diode Rectifiers, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, n. 3, pp. 1270-1277.
- Meng, F., Gao, L., Yang, S., Yang, W., 2015. Effect of Phase-Shift Angle on a Delta-Connected Autotransformer Applied to a 12-Pulse Rectifier, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, n. 8, pp. 4678-4690.
- García, O., Zumel, P., Castro, A., Cobos, J. A., 2006. Automotive DC–DC Bidirectional Converter Made With Many Interleaved Buck Stages, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 21, n. 3, pp. 578-586.
- Baba, D., 2012. Benefits of a multiphase buck converter, Texas Instruments Incorporated, *Analog Applications Journal*

## LITHIUM-ION BATTERY CHARGER FOR ELECTRICAL VEHICLES INTEGRATED TO PHOTOVOLTAIC GENERATION

**Abstract.** *This paper proposes a slow charger for a stationary lithium-ion battery bank from the three-phase power grid. In this study, a building covered by photovoltaic modules generates credits to the consumer. By this reason, it is possible to consider that the batteries are charged by solar energy. The stationary power bank is responsible to store energy that can be used to fast charge the electric bus developed by the Fotovoltaica UFSC group. The proposed battery charger is simple, robust and has a high power factor. It is composed by two stages: the first stage rectifies the AC voltage into DC voltage through a 12-pulse rectifier; and the second stage converts DC to DC using an interleaved boost converter, matching current and voltage charging of the batteries. The power stage and control design of the charger were performed by calculations and validated through simulations. Subsequently, a prototype will be developed and the results of experimental tests will be analyzed.*

**Keywords:** *Solar Energy, Battery Charger, Electric Bus*