

## Desenvolvimento de um controlador de carga de baterias aplicado à sistemas fotovoltaicos

### Development of a battery charge controller applied to photovoltaic systems

Gabriel Stevan Luiz<sup>1</sup>, Sebastian de Jesus Manrique Machado <sup>2</sup>, Leonardo Bruno Garcia Campanhol <sup>2</sup>

#### RESUMO

A geração fotovoltaica traz como benefício a geração de energia de forma limpa e menos prejudicial ao meio ambiente, como também o alívio de cargas para a rede elétrica. Em 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), publicou a normativa que permitia a compensação financeira nas contas de energia para consumidores que possuíssem sistema de geração de energia. A geração fotovoltaica também é muito utilizada em instalações isoladas da rede elétrica, neste tipo de aplicação é empregado um sistema de armazenamento de energia. Esse possibilita que o sistema forneça a energia, que foi gerada durante o período de alta intensidade de radiação solar, durante o período em que não há irradiância solar. O armazenamento de energia geralmente é implementado por meio de bancos de baterias. A interligação entre o arranjo fotovoltaico e o sistema de armazenamento acontece através de um controlador de carga, onde este realiza o gerenciamento do fluxo de energia, ou seja, extração e armazenamento de energia. Este trabalho traz o estudo e simulações de conversores CC/CC (Buck e Buck/Boost bidirecional) que constituem um sistema controlador de carga, a ser capaz de gerenciar o fluxo de energia de um sistema que contém baterias e painéis fotovoltaicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controlador de Carga; Sistema de Armazenamento de Energia; Sistemas fotovoltaicos.

#### ABSTRACT

Photovoltaic generation brings the benefit of generating energy in a clean way that is less harmful to the environment, as well as relieving loads on the electrical grid. In 2012, the National Electric Energy Agency (ANEEL) published regulations that allowed financial compensation in energy bills for consumers who had an energy generation system. Photovoltaic generation is also widely used in installations isolated from the electrical grid, in this type of application an energy storage system is used. This enables the system to supply energy, which was generated during the period of high intensity of solar radiation, during the period in which there is no solar irradiance. Energy storage is usually implemented through battery banks. The interconnection between the photovoltaic array and the storage system takes place through a charge controller, where it manages the energy flow, that is, energy extraction and storage. This work presents the study and simulations of DC/DC converters (Buck and Buck/Boost bidirectional) that constitute a charge controller system, capable of managing the energy flow of a system that contains batteries and photovoltaic panels.

**KEYWORDS:** Charge Controller; Storage System; Photovoltaic system.

## INTRODUÇÃO

O Brasil ultrapassou a marca de 32.000 Megawatt (MW) de potência instalada de geração fotovoltaica em 2022, um dos principais motivos para o constante crescimento desse mercado é que esse tipo de geração se enquadra na chamada agenda verde do ESG (meio ambiente, social e governança corporativa), ressaltando que esta convenção vem atraindo muitos investidores que visam sustentabilidade (CERVONE e KOLOSZUK, 2022).

<sup>1</sup> Aluno voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: gabrielluiz@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3384184258342201.

<sup>2</sup> Docentes no Curso de Engenharia elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: sebastiand@utfpr.edu.br, campanhol@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2866118071883988, 8053457373498978.

Em 2012 a ANEEL criou a resolução normativa nº 482 possibilitando todo consumidor a gerar sua própria energia por meio de fontes renováveis, Geração Distribuída (GD). Em 2015 foi apresentada uma atualização nessa normativa (ANEEL, 2015). Recentemente, no mês de fevereiro de 2023, ocorreu a publicação da normativa nº 1.059 sendo está a vigente até o momento. As regulamentações trouxeram o modelo de compensação de energia aos usuários que possuem esse tipo de sistema de geração de energia. O sistema de compensação está fundamentado em uma maneira de compensar o consumidor que possui um sistema de micro ou minigeração distribuída, através do abatimento de kilowatt-hora (kWh) consumido, pelo kWh injetado na rede na(s) conta(s) de energia que possuem o mesmo titular do sistema de geração (ANEEL, 2015).

Alinhado com o crescimento de GD, a procura por um sistema de armazenamento de energia vem apresentando amplo crescimento, o que aumentou as pesquisas relacionadas com novas tecnologias para baterias, também impulsionada pelo mercado de carros elétricos, em busca de soluções para serem cada vez mais economicamente viáveis além de mais eficazes (MORAIS FILHO, 2020). A utilização de um sistema que possua baterias para armazenar a energia não utilizada nos horários de geração do sistema fotovoltaico, ao invés de injetá-la na rede, pode contribuir com a rede elétrica em certos horários de alta demanda, além de uma vantagem econômica para o consumidor que no final do mês terá uma compensação financeira, ou seja, um abatimento financeiro em sua conta de energia elétrica referente a quantidade de energia que ele forneceu a rede.

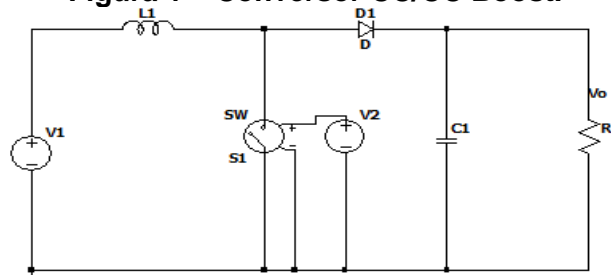
Em um sistema de geração fotovoltaica que possua sistema de armazenamento através de baterias, se faz necessário o emprego de um dispositivo eletrônico nomeado controlador de carga. Estes têm como finalidade fazer o gerenciamento do fluxo de potência entre o arranjo fotovoltaico, as baterias e o inversor. Além de proteger as baterias de possíveis sobrecargas, aumentando seu tempo de vida útil (PINHO e GALDINO, 2014).

Este trabalho apresenta um estudo sobre um sistema de controlador de carga a ser utilizado em um sistema fotovoltaico que utiliza um banco de baterias para armazenamento de energia. A estrutura do controlador de carga abordado é formada por dois conversores CC/CC, sendo eles o conversor Boost para controle da extração da energia ativa gerada pelo arranjo fotovoltaico e o conversor Boost/Buck bidirecional para gerenciamento da energia a ser armazenada/extraída do banco de baterias.

## CONVERSORES CC/CC

O conversor Boost é a topologia de conversor CC-CC que fornece na saída ( $V_o$ ) uma tensão superior à de entrada ( $V_1$ ), ou seja, um conversor elevador de tensão. Seu circuito contém a fonte de alimentação em série com o indutor, além de um diodo, um capacitor e uma chave de potência, dispostos conforme mostra a Figura 1 – Conversor CC/CC Boost (BALDNER, 2018). Através do chaveamento, considerando o modo de condução contínua, este conversor apresenta duas etapas de operação: chave fechada ( $t_{on}$ ) e chave aberta ( $t_{off}$ ). Quando a chave está fechada há o armazenamento de energia no indutor, enquanto a carga é alimentada pela energia armazenada no capacitor. Quando a chave é aberta, a energia que está armazenada no indutor é transferida ao capacitor e a carga por meio do diodo (BALDNER, 2018).

Figura 1 – Conversor CC/CC Boost.

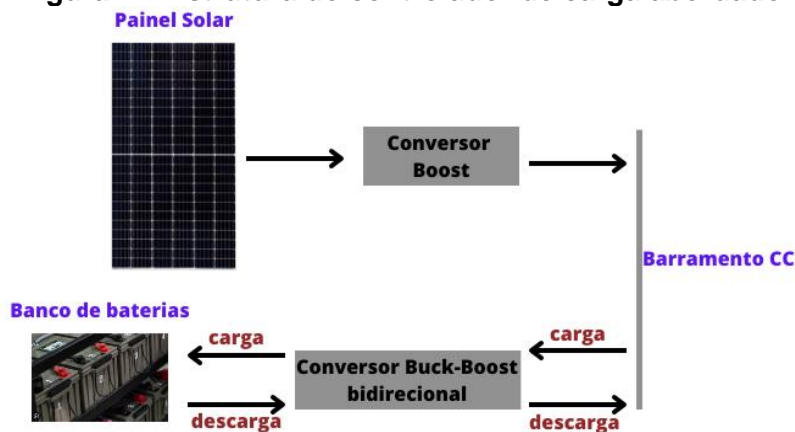


Fonte: Próprio autor.

## CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é um dispositivo eletrônico fundamental em um sistema de geração fotovoltaica que utiliza baterias para o armazenamento de energia. A diferença entre os tipos de controladores de carga encontra-se principalmente em seus parâmetros e métodos de controle, além de algumas ações que possam ou não realizar, como por exemplo, monitorar a corrente e a tensão que alimentam a carga ou bateria (PINHO e GALDINO, 2014). Em sua estrutura, estes controladores possuem tipicamente uma entrada, que faz a ligação com as placas fotovoltaicas, e duas saídas sendo que uma faz a ligação com as cargas e a outra com a bateria ou banco de baterias, as entradas e saídas podem ser desligadas de formas independentes através de relês, a fim de garantir a segurança da bateria (CANELA, 2019). A topologia do controlador de carga adotada neste trabalho é mostrada na Figura 2 – Estrutura do controlador de carga abordado.

Figura 2 – Estrutura do controlador de carga abordado



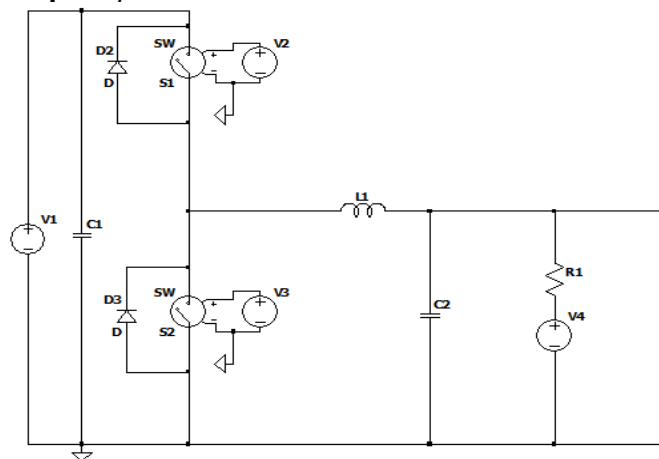
Fonte: Próprio autor.

O controlador de carga realiza o gerenciamento do fluxo da energia gerada pelo arranjo PV, sendo que em dado momento será armazenada no banco de baterias, e em outro será direcionada para alimentar as cargas. A tensão de saída do painel é elevada através da utilização de um conversor Boost, pois a tensão de saída do arranjo PV geralmente apresenta valor abaixo do comumente adotado no barramento CC.

Como o barramento CC apresenta valor fixo de tensão, diferente do valor necessário para realizar carga/descarga do banco de baterias, faz-se necessário que tal tensão seja regulada a fim de alimentar o banco de baterias para que ocorra o armazenamento da energia gerada pelo sistema. No caso de redução do nível de tensão CC, essa pode ser

feita por um conversor Buck. Quando for necessário alimentar o barramento através da energia armazenada, deverá ocorrer a elevação de tensão CC, o que geralmente é feito utilizando conversor Boost. Assim, como o fluxo de potência entre o barramento CC e a bateria terá dois sentidos e estará hora aumentado o valor da tensão e hora diminuindo, o conversor escolhido para esse fim é o Boost/Buck bidirecional, onde a disposição dos componentes nessa configuração de conversor pode ser vista na figura 3 – Disposição de um conversor Buck-Boost bidirecional.

**Figura 3 – Disposição de um conversor Buck-Boost bidirecional.**



Fonte: Próprio autor.

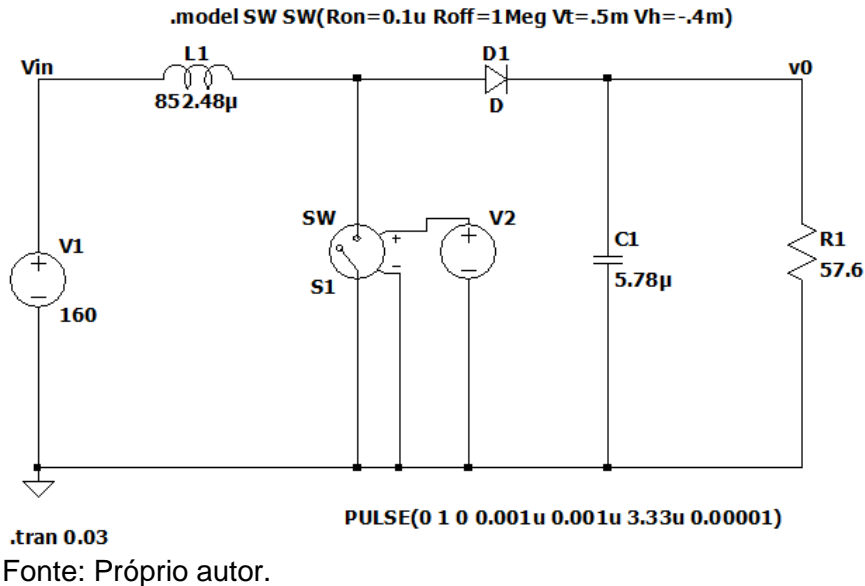
## RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas no software LTspice. Considerou-se um arranjo fotovoltaico contendo 5 placas de 32 Volts com potência de 200 Watts em série, adotou-se que o barramento CC tivesse aproximadamente 1,5 vezes o valor da tensão total dos painéis fotovoltaicos, assim sendo necessário ter o equivalente a 240 Volts. Na tabela 1 são mostrados os valores calculados e especificados dos componentes utilizados na simulação que está representada na figura 4 – Simulação do conversor Boost.

**Tabela 1 – Valores utilizados na simulação do conversor CC/CC Boost.**

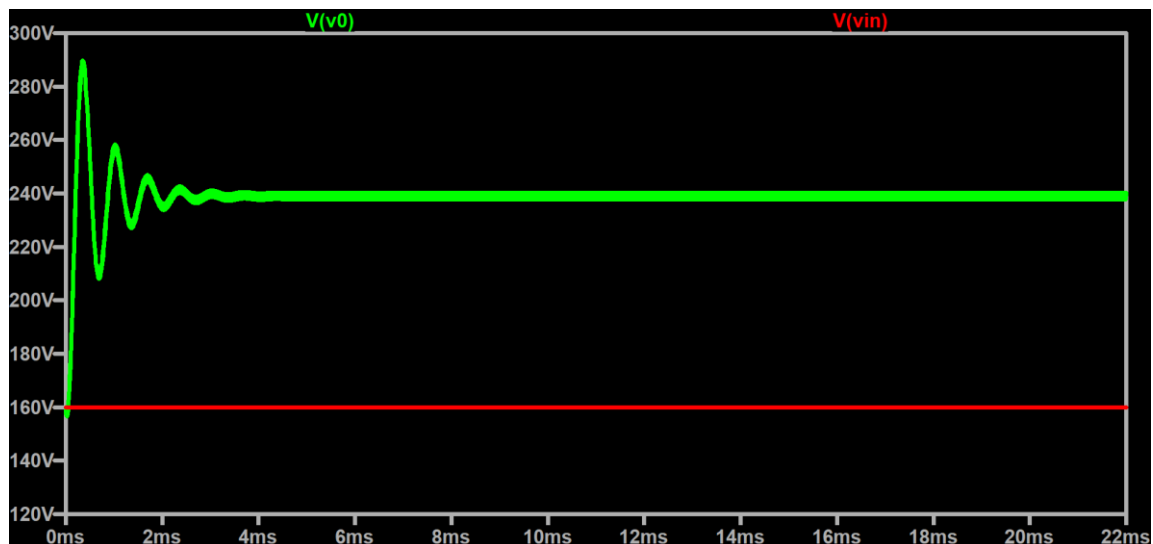
COMPONENTE	VALOR
Tensão do PV (V1)	160 [V]
Barramento CC (v0)	240 [V]
Razão cíclica	3,33μ
Indutor (L1)	852,48μ [H]
Capacitor (C1)	5,78μ [F]
Resistência de Carga (R1)	57,6 [Ω]

Figura 4 – Simulação do conversor Boost



Na figura 5 – Resultado da simulação do conversor Boost, é possível observar o comportamento do circuito simulado. Nota-se que a tensão de saída (V0) apresenta valor aproximado de 240V, como desejado, sendo este valor aproximadamente 1,5 vezes maior do que os 160V de entrada (Vin).

Figura 5 – Resultado da simulação do conversor Boost



Fonte: Próprio autor.

## CONCLUSÃO

O controlador de carga é de suma importância em sistemas de geração que contenha um sistema de armazenamento de energia (banco de baterias). Pois além de

controlar a carga e descarga do banco de baterias aumentando sua vida útil, ele também colabora com o sistema como um todo, possibilitando o controle do fluxo de energia através da implementação de um sistema de controle adequado com os conversores, os quais são a base estrutural de um controlador de carga. Sendo abordado nesse trabalho os conversores CC de topologia Boost e Boost/Buck bidirecional.

Como seguimento deste trabalho, serão realizados o dimensionamento e respectivas simulações computacionais do conversor CC/CC Boost/Buck bidirecional

### Agradecimentos

Os autores agradecem a UTFPR-AP/COELT-AP pela estrutura disponibilizada para estudos e desenvolvimentos das atividades de pesquisa.

### Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012**. [S. l.: s. n.].2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015**. [S. l.: s. n.].2015.

BALDNER, Felipe O. et al. **Eletrônica de potência**. Porto Alegre: 2018: Editora SAGAH, 2018.

CANELA, A. L. **Desenvolvimento e construção de um controlador de carga para um sistema fotovoltaico autônomo**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

CERVONE, R. KOLOSZUK, R. . **Energia solar: mais empregos e competitividade para a indústria**. ABSOLAR,2022.

MORAIS FILHO, S. A. . **Métodos para alocação de sistemas de armazenamento de energia em redes de distribuição de energia elétrica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2016.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. . **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2014..