Utilização da Topologia *Buck-Boost* em um Projeto de Conversor DC-DC Solar Híbrido



Emerson Gonçalves Rodrigues[1]; Milton Mariano Xavier[1];
Renato Vieira Gostenski[1]; Ricardo Luiz Araujo[1]
[1] Centro Universitário UNIFACEAR

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e testes de uma fonte solar de energia elétrica, com capacidade para alimentar sistemas isolados e funcionar como reserva de energia para circuitos críticos. A fonte desenvolvida emprega dois circuitos de topologia buck-boost (abaixador-elevador), com características inovadoras. A flexibilidade para a operação em diversas faixas de tensão e a existência de uma saída de tensão regulada são os diferenciais do protótipo em relação aos equipamentos comerciais disponíveis no mercado atualmente. O primeiro conversor do protótipo realiza a conversão da energia proveniente de um painel fotovoltaico para a bateria e o segundo faz a conversão da etapa da bateria para a carga, mantendo a tensão regulada na saída para a carga. O protótipo desenvolvido possui capacidade para operar com potência de carga de até 100 W, com tensão de 12 V, embora a topologia empregada permita a operação com painéis solares de diferentes tensões entre 5 V a 36 V. Através de uma revisão da literatura, foi possível adquirir conhecimentos relativos a conversores buck-boost, circuitos de controle, acionamentos e algoritmos de gerenciamento de potência elétrica, como por exemplo, o Rastreador de Máxima Potência (MPPT). Com base na revisão bibliográfica, foram definidos os materiais e métodos empregados utilizados na construção do protótipo, assim como na análise técnica e econômica da proposta.

Palavras chave: Buck-boost, MPPT, painel solar, bateria, energia renovável.

ABSTRACT

This paper aims to present the development and testing of a solar electric power source, capable of feeding isolated systems and work as a power reserve for critical circuits. The source developed uses two buck-boost topology circuits with innovative features. The flexibility for operation at several voltage ranges and the existence of regulated voltage output are the prototype differentials. The first converter of the prototype converts the energy from a photovoltaic panel to the battery and the second converts the battery voltage to the load, keeping the voltage regulated at the output. The prototype has the capacity to operate with load up to 100 W, with 12 V, although the topology used allows the operation with solar panels of different voltages between 5 V to 36 V. Through a review of the literature, knowledge of buck-boost converters, control circuits, drives and electrical power management algorithms, such as the MPPT (Maximum Power Tracker).

Key Words: Buck-boost, MPPT, solar panel, battery, Renewable energy

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das civilizações, a energia elétrica se tornou um recurso essencial para a execução das tarefas cotidianas, sejam elas pessoais ou industriais. Logo, a demanda por energia elétrica nas últimas décadas vem aumentando de maneira significativa. As fontes atuais de energia, não renováveis, além de estarem em declínio, impactam significativamente nas mudanças climáticas. Desta forma, a busca por fontes de energia renováveis é um desafio imediato para a humanidade (ELETROBRAS, 2018).

O principal recurso da matriz energética brasileira são as fontes hídricas, que possuem problemas como impactos ambientais e sazonalidades, ou seja, tem seu desempenho afetado de acordo com o clima (EPE, 2018).

No Brasil, atualmente o grande potencial de expansão das fontes hidráulicas de energia elétrica está situado nos rios da região amazônica, região em que a construção de usinas apresenta desafios técnicos, econômicos, logísticos e ambientais, o que limita consideravelmente a exploração deste recurso (COSTA, 2012, p. 40).

Para contornar o problema de abastecimento de energia elétrica a médio e curto prazo, diversos países tem empreendido em várias aplicações de energias renováveis com o objetivo de substituir as fontes tradicionais de energia elétrica. O Brasil tem investido esforços em anos recentes na energia eólica. Atualmente o setor elétrico brasileiro conta com uma potência instalada de aproximadamente 11 GW, dividido em 440 empreendimentos distintos, representando 5,2% da matriz energética elétrica (MOREIRA, 2017, p. 26).

Um exemplo de iniciativa na busca por fontes renováveis de energia é a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, que tem vínculo com o Ministério da Agricultura e trabalha desenvolvendo soluções tecnológicas para a agroindústria. Dentre os muitos campos de pesquisa, o desenvolvimento de sistemas de geração de energias renováveis destaca-se com vistas ao aproveitamento máximo dos recursos naturais. Além dos sistemas mais comuns que são o solar e eólico, também são desenvolvidos projetos utilizando biomassa e biogás (EMBRAPA, 2018).

Devido à natureza do território brasileiro a exploração da biomassa para a geração de energia elétrica apresenta um grande potencial. O país ocupa atualmente a primeira colocação mundial na geração de energia elétrica a partir da biomassa. Tal produção representa 9,2% da matriz energética elétrica nacional (TROMBETA e CAIXETA, 2017).

Embora o efeito fotoelétrico tenha sido observado em 1839 pelo cientista francês Becquerel a produção de energia elétrica em grande escala pelo efeito fotoelétrico tem sido observada apenas a partir dos anos 2000. Tal aplicação vem sendo explorada de maneira intensiva em países como a Alemanha, Espanha, Austrália e China. A ampliação do

interesse pela energia solar tem feito com que os preços dos equipamentos associados sejam reduzidos consideravelmente nos últimos anos. Observou-se uma queda aproximada no custo por kW/h de 45% nos últimos 13 anos. Devido à grande irradiação solar no território brasileiro e a baixa poluição gerada, esta fonte apresenta um grande potencial de aplicação (VILLALVA, 2017). Segundo a Aneel (2018), atualmente a aplicação da energia solar na matriz nacional é de apenas 0,95%, porém a expectativa de crescimento é grande. Os empreendimentos solares representam 7,44% das instalações em construção e 14,41% das instalações já outorgadas, porém sem construção iniciada.

Frente ao exposto, este trabalho visa desenvolver um protótipo de fonte de energia elétrica baseada em energia alternativa, neste caso a energia solar. A fonte proposta emprega painel solar e bateria de chumbo ácido, além de possuir um sistema avançado de gerenciamento de carga e descarga e de estabilização da tensão de saída, algo inédito na categoria de pequeno porte. As aplicações básicas são o fornecimento de energia a sistemas e equipamentos isolados ou a operação como fonte de emergência.

O desenvolvimento de um protótipo foi realizado através de uma revisão da literatura e aplicação de conceitos e técnicas apreendidos pela equipe durante o curso de graduação em Engenharia Elétrica da UNIFACEAR.

2. DESENVOLVIMENTO, MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os passos utilizados para o desenvolvimento e construção do protótipo da fonte de energia proposta, bem como o embasamento teórico utilizado. Tal embasamento é fruto da revisão da literatura empreendida pela equipe do projeto.

2.1. CÉLULA FOTOVOLTAICA E BATERIA

Dois dos principais itens utilizados no protótipo consistem no painel fotovoltaico e na bateria. O painel fotovoltaico é responsável por converter a luz solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico e a bateria é responsável por armazenar energia durante o dia para alimentar a carga no período noturno. O painel de silício monocristalino possui maior eficiência dentre os três tipos de painéis existentes mais utilizados no mercado, compreendidos em monocristalino, policristalino e amorfo (PINHO e GALDINO, 2014, p. 125).

Considerando-se que, a fonte solar de energia elétrica proposta irá gerenciar um fluxo de potência máximo de 100 W foram realizados cálculos baseados na literatura

existente onde 164,8 Wp é o mínimo de geração necessário para atender as necessidades técnicas do projeto. Como não há um painel com este valor nominal, optou-se pela utilização de um painel solar policristalino de 150 Wp, visto que o próximo painel solar tem potência nominal de 250 Wp. Ocorre que a diferença de custos entre os dois modelos de painel inviabiliza a montagem do protótipo.

As baterias comumente encontradas no mercado são as do tipo de chumbo-ácido e íons de lítio. As baterias do tipo chumbo ácido possuem como características positivas, além do baixo custo, a reciclagem de grande parte dos componentes e o domínio da tecnologia. (CAMARGO, IMPINISSI e ANDRADE, 2004, p. 2).

A escolha da bateria deve atender os seguintes requisitos: autonomia e limites de custo. Desta forma, dentre os modelos existentes, optou-se por uma bateria com 36 Ah.

2.2. CONVERSOR *BUCK-BOOST*

Um conversor do tipo DC-DC é responsável por receber uma tensão contínua de entrada normalmente não regulada e transformá-la em uma tensão devidamente regulada na saída. No protótipo foram utilizados dois conversores, sendo um para regular a tensão fornecida pelo painel fotovoltaico e carregar a bateria e outro para regular a tensão da bateria e fornecer uma tensão saída regulada para a carga. Com o objetivo de regular a tensão, uma chave do tipo *mosfet* é ligada e desligada seguindo uma frequência pré-determinada e a variação do tempo que a chave fica acionada é que determina a tensão e corrente de saída. (RASHID, 1999, p. 386).

A Figura 1 demonstra o funcionamento destes conversores.

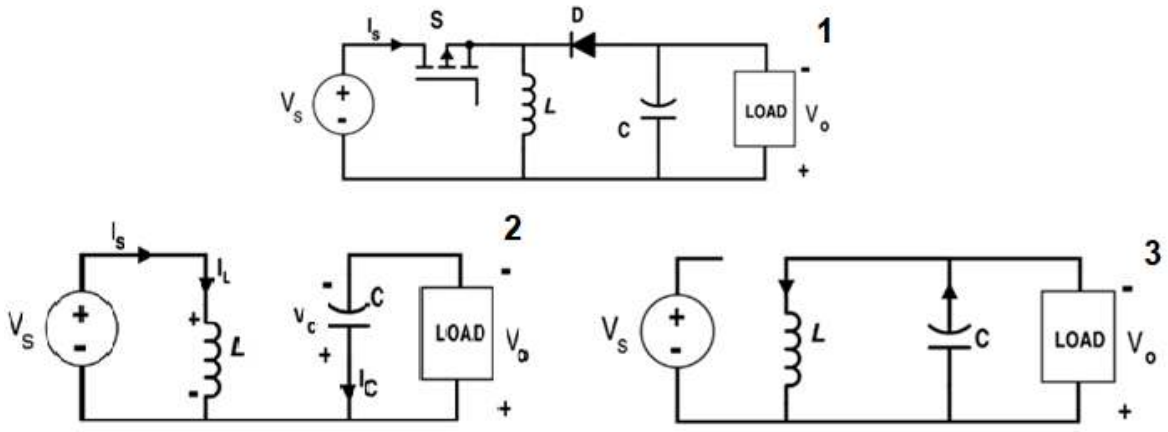

FIGURA 1 – CONVERSOR DC-DC TIPO BUCK-BOOST
FONTE: RASHID (1999)

O item 1 apresenta o conversor *buck-boost*. A fonte Vs pode ser o painel ou a bateria, já que o protótipo possui dois desses conversores: um do painel fotovoltaico para carregar a bateria; outro para regular a tensão da bateria para a carga. A chave S é responsável por chavear na frequência determinada através do comando enviado pelo microcontrolador. O indutor L é responsável por armazenar energia e fornecer ao capacitor C através do diodo D, mantendo a carga *Load* com tensão regulada por todo o tempo em que o conversor estiver em funcionamento.

O item 2 apresenta o primeiro estágio de funcionamento do conversor. A chave S é fechada e a energia da fonte Vs é responsável por carregar o indutor L. A carga é mantida pela energia presente no capacitor C.

O item 3 apresenta o segundo estágio de funcionamento do conversor. A chave S é aberta e a energia armazenada no indutor L no ciclo anterior é responsável por carregar o capacitor C e manter a carga alimentada com tensão regulada.

O ciclo se repete durante todo o tempo em que o conversor estiver em funcionamento, e o ciclo de PWM é gerado pelo microcontrolador com base nas amostras de tensão e corrente realizadas através de sensores instalados no protótipo.

2.3. MPPT ATRAVÉS DO MÉTODO P&O

Devido à baixa eficiência dos painéis fotovoltaicos, de 14 a 17%, na conversão de energia solar para elétrica é necessário a implementação de algoritmos que rastreiem a máxima potência dos painéis fotovoltaicos, cujo ponto varia em função da curva tensão x corrente, da radiação solar e da temperatura (BRITO, SAMPAIO, *et al.*, 2010, p. 1).

O algoritmo de perturbação e observação (P&O) é utilizado devido sua estrutura simples e poucos parâmetros a serem medidos para possibilitar seu funcionamento. Este algoritmo opera periodicamente perturbando (incrementando ou decrementando) a tensão de saída do painel fotovoltaico, comparando a potência atual com a potência obtida no ciclo anterior. Se a potência obtida no ciclo atual for maior que a potência obtida no ciclo anterior, o algoritmo seguira nesta direção. Caso contrário, seguira na direção oposta (HUSSEIN, MUTA, *et al.*, 1995, p. 60).

A Figura 2 representa o fluxograma do método P&O.

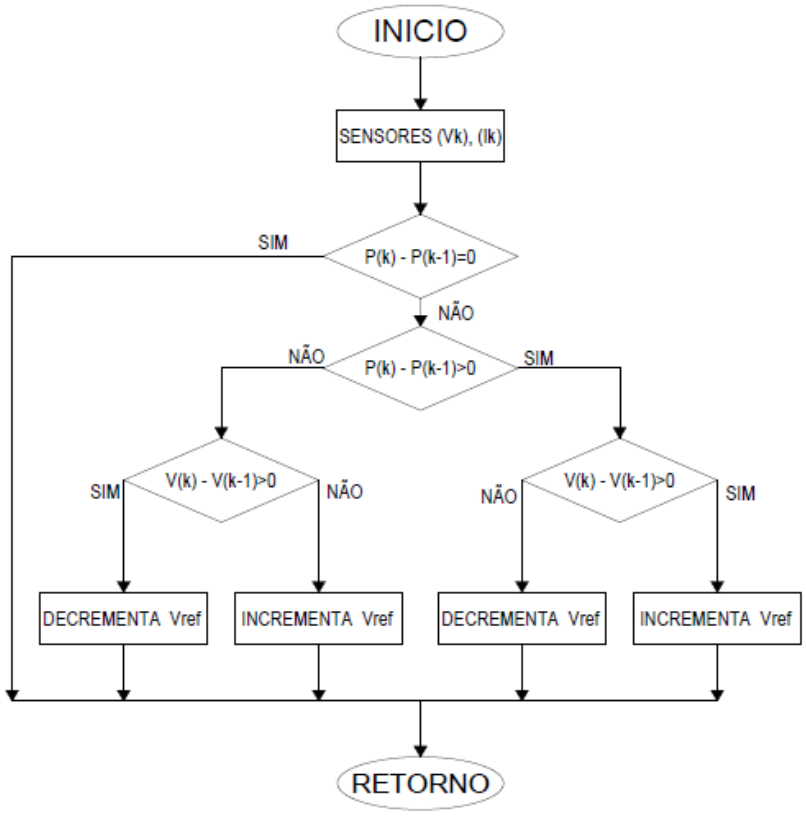

FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO ALGORITMO P&O
FONTE: ADAPTADO DE MATCHWORKS (2018)

No fluxograma apresentado na Figura 2, nota-se que inicialmente são lidos os valores de tensão V(k) e corrente I(k), onde (k) representa o ciclo de leitura atual e (k-1) representa o ciclo de leitura anterior. Em seguida, subtrai-se a potência do ciclo atual com a potência do ciclo anterior e se o resultado for igual a zero, o ponto ótimo foi atingido e permanece nas mesmas condições até que o painel fotovoltaico sofra perturbações externas.

Caso o resultado da subtração da potência atual com a potência anterior seja maior que zero, outra comparação, agora da tensão, é realizada para verificar se a tensão do painel aumentou ou não em relação ao ciclo anterior e ajustar Vref (valor intrínseco do algoritmo) a fim de convergir para a potência ótima. O mesmo ocorre caso a potência atual seja inferior à potência anterior, só que agora o algoritmo apontará para o sentido oposto.

Através do uso deste algoritmo, é possível utilizar sempre a máxima potência fornecida pelo painel de acordo com as variáveis intrínsecas deste componente, como nível de insolação, temperatura e curva tensão x corrente (BRITO, SAMPAIO, *et al.*, 2010, p. 3).

O algoritmo implementado no microcontrolador foi adaptado para as necessidades do protótipo, sendo que ao invés de incrementar ou decrementar a tensão de referência do painel fotovoltaico, incrementa ou decrementa a corrente desejada na bateria. Como existe

a necessidade de controlar a tensão e corrente máxima para a carga da bateria, foi implementado no código uma referência máxima de tensão e corrente. Caso o estágio de carga grossa esteja ativado, a referência de corrente máxima é 7,3 A e a tensão é de 14,5 V. No estágio flutuante, a referência de corrente máxima é de 0,1 A e tensão é de 13,6 V. O MPPT é impedido de ultrapassar esses valores pelos limites implementados no código.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados nesta seção os testes realizados no protótipo. É valido frisar que só foi possível a realização dos ensaios eletroeletrônicos após a pesquisa da literatura que permitiu definir a topologia utilizada, bem como o dimensionamento dos componentes eletrônicos de potência. Serão demostrados os testes inicias na placa, cujo objetivo foi verificar a integridade da montagem e o correto funcionamento dos componentes eletrônicos, os resultados finais da programação do microcontrolador, os ensaios de carga e descarga da bateria, a tensão de saída em diferentes níveis de caga e a temperatura nas chaves de potência.

3.1. TESTES INICIAIS DA PLACA

Os testes inicias da placa consistiram em verificar o funcionamento de todos os circuitos de medição e controle da etapa de potência. Para tais testes, foi alimentado o circuito de controle cuja fonte de tensão é obtida a partir da bateria e é regulada para os níveis aceitos pelo microcontrolador. Na sequência, foram verificadas se as amostras de tensão e corrente presentes no microcontrolador estavam em níveis adequados. Por último, foi analisado o sinal PWM no pino *gate* do *mosfet* a fim de verificar a forma de onda do sinal de PWM gerado pelo microcontrolador.

Os circuitos de alimentação regulam a tensão fornecida pela bateria aos níveis necessários para alimentação dos componentes de controle, como o microcontrolador, sensores de corrente e o *driver* para acionamento dos *mosfets*. Os reguladores de tensão são do tipo linear e foram utilizados dois no protótipo, sendo que um regula para 5 V e outro para 3,3 V.

Os níveis das amostras de tensão e corrente apresentaram valores proporcionais aos níveis de tensão e corrente dos nós de onde foram inseridos os sensores, e a tensão de saída dos sensores apresentaram valores dentro do máximo permitido pelas entradas do microcontrolador.

A análise do sinal PWM no pino *gate* do *mosfet* é representado na Figura 3.

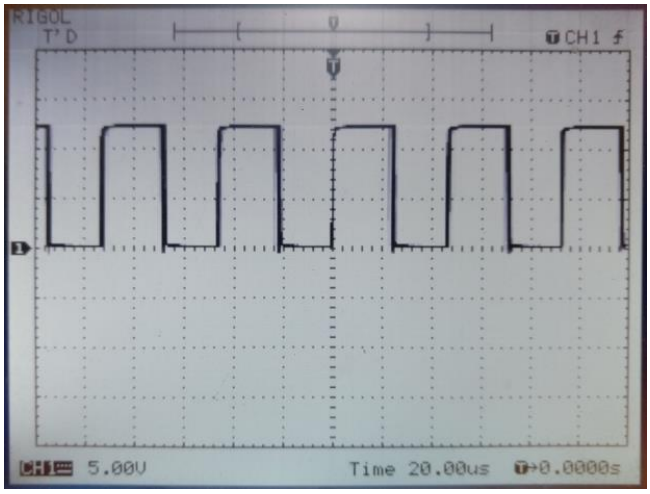

FIGURA 3 – SINAL PWM NO PINO *GATE* DO *MOSFET*
FONTE: OS AUTORES (2018)

A análise foi realizada em um osciloscópio, cujas configurações para este teste foram determinadas em 5 V por divisão no eixo vertical e 20 μs no eixo horizontal. Desta forma, o sinal PWM tem amplitude de 12 V e o período do *clock* é de aproximadamente 46 μs, que corresponde a frequência utilizada de 21600 Hz.

Os resultados dos testes iniciais foram satisfatórios pois pode-se observar o correto funcionamento das amostras de tensão e corrente, além do sinal PWM chegar ao pino do *mosfet* sem ruído e com forma de onda quadrada, promovendo o correto funcionamento do componente.

3.2. PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

O microcontrolador é a central de processamento do protótipo responsável por realizar todas as medições de tensões e correntes em tempo real, e com base nessas informações realizar o processamento necessário para proporcionar o comportamento ideal, tanto para controle do MPPT, carga e descarga da bateria e controle da saída para a carga.

O microcontrolador utilizado foi o MC56F84763 fabricado pela NXP, cuja arquitetura é de 32 bits e é uma mescla entre microcontrolador e microprocessador. Isto significa que além dos periféricos de PWM e conversores de sinais analógicos para digital (AD), possui também funções intrínsecas de cálculo.

Todo o ciclo de processamento é realizado uma vez por ciclo de PWM, fornecendo periodicidade ao sistema, resultando em 21600 análises por segundo, que é a frequência do PWM. Inicialmente, quando a rotina é disparada pela interrupção do PWM, limpa-se a variável que é relacionada a esta interrupção para que possa ser executada no próximo

período. Em seguida são capturadas e normalizadas (adequação do valor em *bits* para o valor real da amostra) as amostras de tensão e corrente, cujos dados são processados a fim de adequar o PWM para proporcionar o comportamento correto do protótipo.

As etapas a seguir são relacionadas as tomadas de decisões que o algoritmo implementado executa, seja para carregar a bateria ou mantê-la em flutuação e também para regular a tensão de saída para a carga.

Inicialmente, verifica-se a tensão da bateria. Se for menor que 12 V é iniciado o carregamento da bateria. Caso a tensão da bateria seja maior que 12 V, a bateria é mantida em flutuação.

Em seguida, é realizado o rastreamento da máxima potência do painel fotovoltaico. Caso a corrente exigida para carregamento da bateria ou para mantê-la em flutuação, com a carga acionada ou não, provoque uma queda de tensão no painel fotovoltaico, o algoritmo de MPPT decrementa a corrente injetada na bateria.

Ao estabilizar a tensão fornecida pelo painel fotovoltaico, o algoritmo incrementa a corrente da bateria e observa a potência obtida no painel (tal método origina o nome de perturbação e observação). Se a potência for maior que a anterior, o algoritmo continua incrementado até atingir o limite estabelecido no algoritmo. Caso contrário, decrementa a corrente da bateria.

Com o valor de referência de corrente para injeção na bateria definido pelo algoritmo de MPPT, é realizado o controle proporcional e integrador (PI) para controlar a corrente na bateria. Por último, é realizado o controle PI para regular a tensão na saída para a carga.

Em testes realizados durante o dia e a noite, o algoritmo não apresentou comportamentos inadequados, como travamentos ou perdas de periodicidade. Porém, é importante ressaltar que o algoritmo de MPPT é lento, ou seja, demora até um minuto para encontrar o ponto ótimo de potência. Para melhorar o tempo de resposta, seria necessário aprimorar o algoritmo através de um processo iterativo entre testes e ajustes, que exigem tempo e equipamentos de testes que simulam o comportamento de painéis fotovoltaicos, pois o desenvolvimento desta rotina através da dependência de intempéries é inviável, aumentando o tempo de trabalho significativamente.

3.3. CARGA E DESCARGA DA BATERIA

A execução do teste de carga da bateria foi realizado no dia quinze de novembro de 2018, das 07h30min às 17h30min, em um dia parcialmente nublado, com temperatura

média de 22 ºC e umidade relativa do ar em 80 % (WU WEATHER UNDERGROUND, 2018).

Para coleta dos dados foi utilizado o *software FreeMaster* (2018), da fabricante NXP, que possibilita a captura em tempo real de diversos dados. Neste caso, foram adquiridas leituras de tensão e corrente. A acurácia dos dados coletados foi comparada através de medições de tensão e corrente executadas com alicate amperímetro devidamente calibrado.

Com a bateria descarregada, a primeira etapa consistiu em carregá-la através do painel fotovoltaico, sem carga acoplada ao protótipo, a fim de avaliar o tempo de uma carga completa. Os resultados obtidos durante a primeira etapa do teste são demonstrados na Gráfico 1.

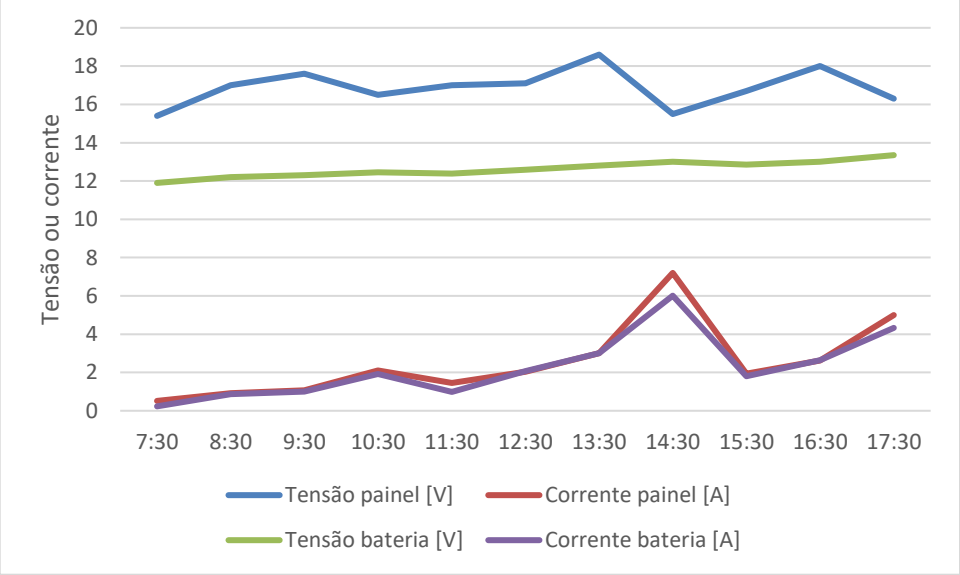

GRÁFICO 1 – CARGA DA BATERIA
FONTE: OS AUTORES (2018)

A tensão inicial da bateria foi de 11,9 V e a tensão final foi de 13,3 V, enquanto o tempo de carga foi de dez horas. O objetivo seria alcançar a tensão de 14,5 V para depois permanecer em flutuação em 13,6 V. A irradiação solar do dia não foi ideal para fornecer uma carga completa, porém, mesmo assim, foi possível repor boa parte da carga para fornecer energia durante o período noturno. Ressalta-se que a corrente média de carga foi de 2,26 A, enquanto a corrente máxima que pode ser fornecida para a bateria em um dia predominantemente ensolarado é de 7,3 A.

A execução da segunda etapa do ensaio eletroeletrônico foi realizada logo após a bateria ser carregada durante o dia, onde a tensão final foi de 13,3 V. Para a execução deste teste, a potência fornecida pelo painel fotovoltaico foi de 0,0 W simulando as condições de utilização proposta no projeto. A partir deste instante monitorou-se a tensão

e corrente da bateria e da carga através do *software Freemaster* e quando a bateria atingiu 10,5 V, o protótipo foi desligado. O Gráfico 2 apresenta a curva de descarga da bateria.

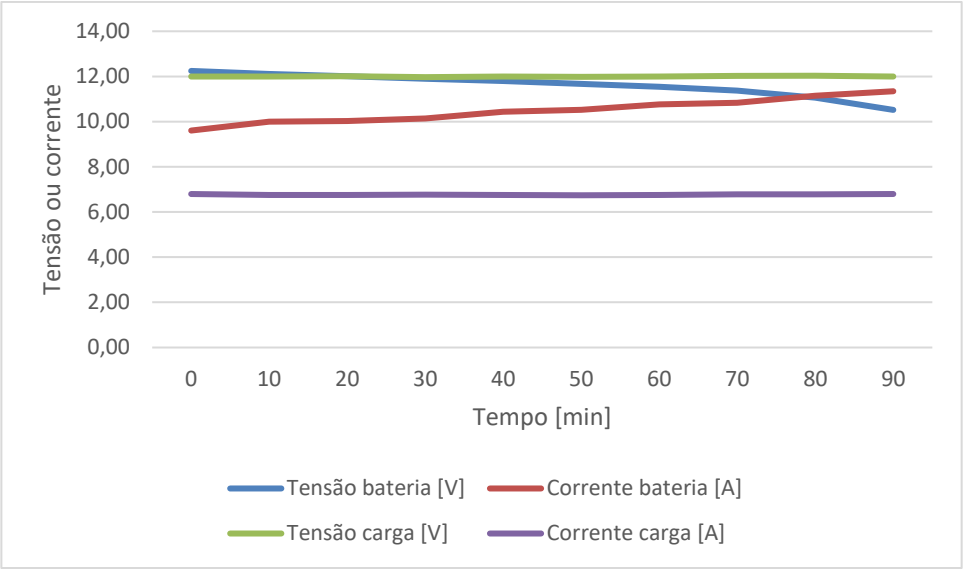

GRÁFICO 2 – DESCARGA DA BATERIA
FONTE: OS AUTORES (2018)

A tensão inicial da bateria foi de 12,24 V e a corrente foi de 9,61 A. A tensão final da bateria foi de 10,52 V e a corrente foi de 11,34 A, fornecendo potência constante para a carga.

A primeira observação é referente a tensão e corrente da carga, que permaneceram constantes em todo o período de descarga, independente da tensão momentânea fornecida pela bateria. Ou seja, o objetivo de fornecer uma tensão regulada para a carga foi alcançado.

A segunda observação é referente a eficiência do conversor *buck-boost*. Ao dividir a potência exigida na carga pela potência fornecida pela bateria ao longo do tempo e realizando a média, a eficiência estabilizou em torno de 75 %.

3.4. TENSÃO DE SAÍDA EM DIFERENTES NÍVEIS DE CARGA

A execução deste ensaio eletroeletrônico foi realizado com cinco lâmpadas incandescente automotiva de 20 W cada, cuja soma da potência de cada lâmpada resulta em 100 W.

A Figura 4 representa o comportamento da saída de tensão em diferentes níveis de carga.

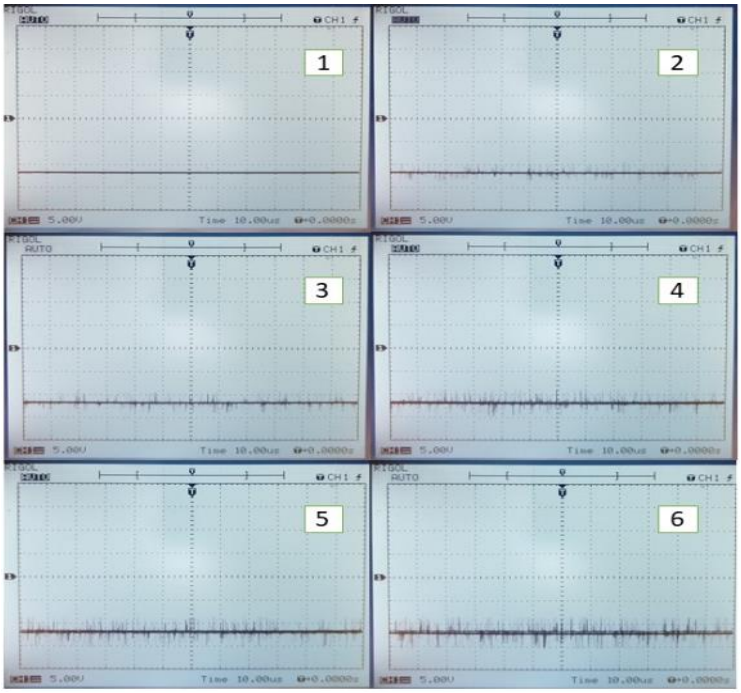

FIGURA 4 – TENSÃO DE SAIDA EM DIFERENTES NÍVEIS DE CARGA
FONTE: OS AUTORES (2018)

A análise foi realizada em um osciloscópio, cujas configurações para este teste foram determinadas em 5 V por divisão no eixo vertical e 10 μs no eixo horizontal.

A análise do comportamento da saída de tensão em diferentes níveis de carga é feita a seguir:

- Item 1 da Figura 4: potência de 0,0 W e tensão de -12 V. É importante ressaltar que a tensão é negativa devido às características do conversor, cujo funcionamento foi explicado na seção 2.2. Nota-se que não existe ruído e a tensão é estável em todo o tempo;
- Item 2 da Figura 4: potência de 20 W e tensão de -12 V. A partir desta potência já existe algum ruído causado pelo chaveamento em alta frequência, mas a tensão é estável em todo o tempo;
- Itens 3, 4, 5 e 6 da Figura 4: as potências são, respectivamente, 40, 60, 80 e 100 W. Com o aumento da carga, o ruído ocasionado pelo chaveamento também aumenta, porém, a tensão permanece estável em todo o tempo.

Fabricantes de fontes chaveadas estipulam o ruído na saída em no máximo 100 mV de pico a pico. A fonte solar de energia, em carga máxima, chega em um ruído de até 5 V. Ao testar o protótipo com lâmpadas resistivas e lâmpadas LEDS, tal ruído não resultou em mau funcionamento destas cargas. No entanto, em equipamentos críticos, como equipamentos de instrumentação, monitoramento e segurança, tal ruído pode ocasionar problemas no funcionamento.

Como a proposta da fonte solar de energia elétrica é alimentar circuitos de iluminação e os ensaios eletroeletrônicos com este tipo de carga não apresentou problemas, o objetivo foi alcançado.

3.5. TEMPERATURA DAS CHAVES DE POTÊNCIA

A temperatura máxima estabelecida nas folhas técnicas dos componentes de potência (diodos e *mosfets*) é de até 175 ºC (International IOR Rectifier, 2014, p.1).

Através da utilização de um termômetro digital, realizou-se medições de temperatura periodicamente a cada cinco minutos, cujos dados estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – TEMPERATURA DOS COMPONENTES DE POTÊNCIA

Tempo (Minutos)	Temp Mosfet	Temp Diodo
0	25 ºC	25 ºC
30	43 ºC	43 ºC
60	47 ºC	48 ºC
90	50 ºC	49 ºC

FONTE: OS AUTORES (2018)

Pôde-se observar que a temperatura não passa de 51 ºC, em todos os componentes de potência.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma fonte solar de energia elétrica utilizando dois conversores do tipo *buck-boost* com o objetivo de adaptar a energia proveniente do painel fotovoltaico para carregamento da bateria e outro para regular a tensão da bateria e alimentar a carga do usuário.

Pôde-se observar durante os ensaios eletroeletrônicos que a tensão regulada na saída para a carga permaneceu estável em 12 V durante todo o período de testes, independente da tensão da bateria, do painel fotovoltaico ou da corrente exigida pela carga.

Observou-se também que o carregamento da bateria ocorreu mesmo em dia nublado, cuja irradiação solar é afetada pela presença de nuvens diminuindo a capacidade de geração do painel fotovoltaico. Porém, mesmo nesta situação foi possível repor boa parte da carga da bateria que estava totalmente descarregada, com tensão em 11,9 V.

A tensão regulada na saída tem plena capacidade de alimentar circuitos de iluminação de lâmpadas LED ou incandescentes de forma que o usuário não perceba nenhuma variação de tensão da bateria, o que torna viável sua utilização para iluminação de emergência, iluminação principal de cômodos ou residências, vias públicas ou até mesmo comunidades isoladas onde não exista infraestrutura de rede elétrica.

Ainda durante os ensaios eletroeletrônicos levantou-se também algumas necessidades de melhorias.

O primeiro ponto de melhoria para trabalhos futuros é relacionado ao circuito *driver*, que consome da bateria uma corrente constante de aproximadamente 300 mA.

Caso a bateria chegue na tensão mínima, obrigando o desligamento do circuito, o *driver* para *mosfet* continua consumindo corrente, levando-a a descarga total, o que pode inutilizar a bateria. Dentre as possíveis soluções, destacam-se duas: acionamento ou desligamento da fonte do circuito *driver* através do microcontrolador, permitindo o total desligamento do equipamento no caso de a bateria atingir seu nível mínimo de tensão; troca do circuito de driver para outro que não necessite de uma fonte isolada, como um transformador de pulso.

O segundo ponto de melhoria é relacionado a eficiência do equipamento, sendo que cada conversor tem, isoladamente, uma eficiência de 75%. Logo, a eficiência global do equipamento é de 56%. Isso significa que, se for drenada uma potência de 100 W do painel fotovoltaico, será possível extrair uma potência de 56 W na carga. Tal eficiência é baixa se comparada a outros equipamentos comerciais.

O terceiro e último ponto é relacionado ao ruído na tensão de saída para a carga. Este problema pode causar mau funcionamento em equipamentos de operação crítica, impossibilitando seu uso nestas condições. Uma possível solução é inserir um filtro na saída, a fim de reduzir a intensidade do ruído.

Apesar dos pontos de melhorias apresentados, o objetivo geral do trabalho foi alcançado, uma vez que foi possível transferir potência entre os conversores empregados através do controle implementado no microcontrolador, carregando a bateria e fornecendo tensão constante para a carga. Foram utilizadas com sucesso técnicas de compensação PI e rastreamento da máxima potência do painel fotovoltaico utilizando amostras de tensão e corrente implementadas no conversor.

5. REFERÊNCIAS

ANEEL. Matriz de Energia Elétrica. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2018. Disponivel em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 08 Dezembro 2018.

BRITO, M. A. G. D. et al. Avaliação das Principais Técnicas para Obtenção de MPPT de Painéis Fotovoltaicos. **Laboratório de Eletrônica de Potência - Departamento de Engenharia Elétrica**, Ilha Solteira, v. 1, n. 1, p. 6, Dezembro 2010.

CAMARGO, C.; IMPINISSI, P. R.; ANDRADE, J. D. Sistema de armazenamento de energia a base de baterias para aplicações na rede de distribuição. **Espaço da Energia**, Outubro 2004. 11.

COSTA, L. **Revista GTD Energia Elétrica**. 51. ed. São Paulo: Luniere, v. 1, 2012.

ELETROBRAS. www.eletrobras.com. **Eletrobras**, 09 Setembro 2018. Disponivel em: <www.eletrobras.com>.

EMBRAPA. **Embrapa**, 29 Outubro 2018. Disponivel em: <https://www.embrapa.br/>.

EPE. Matriz Energética e Elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética**, 01 Setembro 2018. Disponivel em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

HUSSEIN, K. H. et al. Rastreamento máximo de energia fotovoltaica: um algoritmo para alterar rapidamente as condições atmosféricas. **Procedimentos do IEE - Geração, Transmissão e Distribuição**, 01 Janeiro 1995. 64.

INTERNATIONAL IOR RECTIFIER. **Datasheet IRFB3306Pbf**. IR World Headquarters. El Segundo, p. 12. 2014.

MATCHWORKS. Algoritmo MPPT. **Matchworks**, 15 Maio 2018. Disponivel em: <https://www.mathworks.com/discovery/mppt-algorithm.html>.

MOREIRA, S. **Revista Eletricidade Moderna**. 520. ed. São Paulo: Aranda, v. 1.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014.

RASHID, M. H. **Eletrônica de Potência:** circuitos, dispositivos e aplicações. São Paulo: Makron Books, 1999.

TROMBETA, N. D. C.; FILHO, J. V. C. Potencial e Disponibilidade de Biomassa de Cana de Açucar na Região Sul do Brasil - Indicadores Agroindustriais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 3, setembro 2017.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações - sistemas isolados e conectados à rede**. 2ª. ed. São Paulo: Érica, v. 01, 2017.

WU WEATHER UNDERGROUND. WU Weather Underground. **WU Weather Underground**, 2018. Disponivel em: <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=ICURITIB22#history>. Acesso em: 15 Novembro 2018.