

PROJETO E VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM CONVERSOR BUCK-BOOST

Elison de Souza Moreira e Leandro dos Reis Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba – PR, Brasil

ORCID: 0000-0003-0243-8797 e 0000-0002-4934-933X

e-mail: elisonmoreira@alunos.utfpr.edu.br e leandro_22pereira@hotmail.com

Resumo – Este artigo tem como objetivo relatar e detalhar a construção de um conversor buck-boost. Cuja a função deste é converter uma tensão cc (corrente contínua) de entrada, em outra tensão cc em sua saída, de valor mais elevado ou inferior dependendo de sua configuração. Destaca-se aqui o uso de um semi condutor MOSFET que funciona como uma chave controladora. Na elaboração deste está destacada o funcionamento, principais características e toda a parte de simulação e comprovação prática deste conversor.

Palavras-chave – Conversor Buck-Boost, Conversor CC-CC, Elevador/abaixador de Tensão, Retificador Controlado e MOSFET.

DESIGN AND EXPERIMENTATION OF A BUCK-BOOST CONVERTER

Abstract – This article aims to report and detail the construction of a buck-boost converter. The function of which is to convert an input DC voltage (DC) into another DC voltage at its output of higher or lower value depending on its configuration. Of note here is the use of a semiconductor MOSFET that functions as a controller key. In the elaboration of this is highlighted the operation, main features and all the part of simulation and practical proof of this converter.

Keywords – Buck-Boost Converter, DC-DC Converter, Voltage Up / Down, Controlled Rectifier and MOSFET.

I. INTRODUÇÃO

O conversor buck-boost tem como principal função converter uma tensão CC de entrada (alimentação) em outra tensão CC em sua saída, que por sua vez pode ser variável. O valor de saída pode neste caso ser inferior ou superior ao fornecido. Não pode ocorrer a transferência direta de energia da entrada para a saída, sendo necessária a inclusão de um componente acumulador (com característica de fonte de corrente) para transferir a energia da entrada para a saída. Devido à isso, o conversor buck-boost pertence a classe de conversores CC-CC indiretos. [1]

O circuito ilustrativo que representa esse conversor pode ser visto na Figura 1. O funcionamento do conversor buck-boost se dá pelo fato de que o indutor L_o é o principal

componente deste circuito (as características construtivas do indutor podem ser vistas no Relatório 3) é um armazenador de energia magnética e capaz de suportar variações súbitas de corrente. Quando o MOSFET S_o está no modo ON (fechado), isto é, conduzindo, o indutor está sendo carregado magneticamente pela tensão V_{in} , no entanto o diodo D_o está inversamente polarizado, isto é comportando-se como chave aberta, assim desconectando o capacitor C_o e o resistor R_o do restante do circuito da fonte de alimentação. No instante que o MOSFET pára de conduzir (se abre) o indutor se descarrega. Já o capacitor do circuito de saída é projetado para que a tensão de saída se mantenha constante, ou seja, não sofra variações que compremeta a tensão na carga, durante a comutação do MOSFET.

O MOSFET S_o como já citado funciona como uma chave, que quando fechada possibilita que seja acumulada energia fornecida pela fonte ao indutor, que por sua vez devido diodo estar inversamente polarizado interrompe a condutividade de tensão para o restante do circuito. Já quando S_o está aberta, permite que a energia acumulada no indutor circule em forma de corrente (pelo mesmo armazenar corrente) através do diodo que neste instante passa a conduzir, pelo capacitor e pela carga (resistor R_o). A grande vantagem de se utilizar MOSFET nesse caso é que a comutação, ou seja, ativação e desativação desse componente pode ser realizada facilmente, necessitando-se controlar a corrente no terminal base ou gate. Tudo isso é possível pelo uso de um PWM (Pulse Width Modulation - modulação por largura de pulso), um circuito que fornece um sinal pulsado cuja largura é controlável. Com isso, pode-se controlar o tempo de condução do MOSFET de acordo com a razão cíclica do PWM e assim possibilitando controlar se o conversor eleva ou abaixa a tensão de entrada do mesmo.

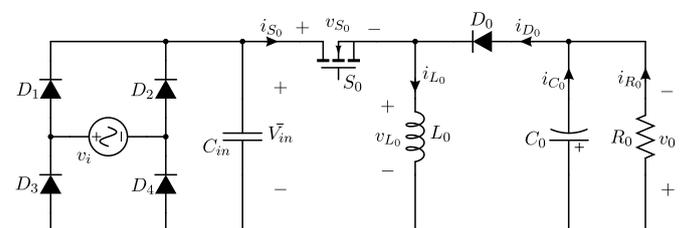


Fig. 1. Conversor Buck-Boost com retificador de entrada.

II. ESTUDO TEÓRICO

Substituindo a ponte retificadora por uma fonte de tensão V_i tem-se o circuito mostrado na Figura 2.

Para se dimensionar e compreender o circuito a ser projetado e posteriormente montado para o modo de condução

Artigo compilado em 10 de dezembro de 2017 às 00:29h, referente ao experimento de número 06 da disciplina de Laboratório de Eletrônica de Potência – ET76C, ministrada pelo Prof. Adriano Ruselel, Dr. Eng. Repositório: <https://github.com/AdrianoRuselel/ET76C-LAB>

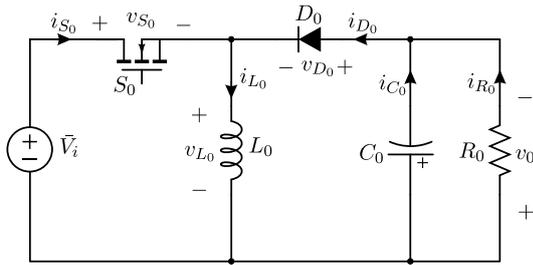


Fig. 2. Conversor Buck–Boost com retificador de entrada.

contínua (MCC), deve inicialmente conhecer os componentes que o formam. A Tabela I apresenta os parâmetros de projeto do conversor Buck–Boost.

TABELA I

Parâmetros de projeto do conversor Buck–Boost

Parâmetro	Valor	Símbolo
Frequência da rede	60 Hz	f_i
Frequência de comutação	20 kHz	f_s
Tensão contínua de entrada	178 V	V_i
Tensão contínua de saída	200 V	V_0
Resistência de carga	3,28 k Ω	R_0
Ondulação de corrente	55 %	Δi_{L_0}
Razão cíclica de operação	11,40 %	D_{buck}

Todo o equacionamento deste circuito pode ser encontrado em [2]. Deve-se inicialmente, calcular a tensão média mínima de entrada através da equação:

$$\bar{V}_{imin} = \hat{V}_i - \frac{\Delta V_i}{2} \quad (1)$$

onde ΔV_i é a ondulação máxima de tensão desejada na entrada que para esta topologia de circuito pode variar em 5 V e:

$$\hat{V}_i = \sqrt{2} \cdot V_i \quad (2)$$

que representa a tensão de pico;

$$V_i = \frac{220}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Substituindo-se os valores na equação 1, obtém-se aproximadamente, $\bar{V}_{imin} = 177,13$ V.

Considerando uma potência ativa máxima de 20 W e um rendimento em estágio CC (η_{CC}) igual a 0,95, pode-se calcular a resistência mínima de carga para o retificador pela equação:

$$R_{imin} = \frac{\eta_{CC} \cdot \bar{V}_{imin}^2}{P_{0max}} \quad (4)$$

que traz aproximadamente $R_{imin} = 1,50$ k Ω . No entanto na montagem, utiliza-se quatro resistores de potência de aproximadamente 820 Ω cada, em série, que resulta em 3,28 k Ω .

Para se projetar a capacitância mínima a ser utilizada no

barramento CC, utiliza-se de:

$$C_{imin} = \frac{\pi \cdot \hat{V}_i}{\omega_i \cdot R_{imin} \cdot \Delta V_i} \quad (5)$$

onde:

$$\omega_i = 2\pi f_i \quad (6)$$

representa a frequência angular, logo se tem $C_{imin} = 200,89$ μ F. Por razões comerciais utiliza-se na prática um capacitor de 220 μ F.

O dimensionamento do indutor a ser utilizado pode ser obtido no experimento 3, sendo importante para esse a seguinte equação:

$$L_0 = \frac{\bar{V}_{imin} \cdot V_0}{\Delta i_{L_0} \cdot (V_0 + \bar{V}_{imin}) \cdot f_s} \quad (7)$$

que resulta em aproximadamente $L_0 = 140,05$ mH. Outros dados e parâmetros relevantes sobre o indutor estão apresentados na Tabela II. A indutância confeccionada e utilizada nessa montagem foi de aproximadamente 30,00 mH.

O ganho estático é dado por:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{D}{1-D} \quad (8)$$

onde:

D representa razão cíclica do PWM. [3]

TABELA II

Parâmetros do indutor projetado para o conversor Buck–Boost

Parâmetro	Valor	Símbolo
Núcleo Thornton	E-30/15	-
Fator de ocupação do núcleo	0,65	k_w
Densidade máxima de corrente	370 A m ⁻²	J_{max}
Densidade magnética máxima	0,30 T	B_{max}
Número de espiras	280	N_L
Número de condutores	1	N_C
Entreferro	0,10 mm	l_g
Comprimento do chicote	15,68 m	l_{fio}
Bitola do fio	AWG 28	-
Indutância obtida	29,56 mH	L_0

III. VERIFICAÇÃO POR SIMULAÇÃO

Para análise por simulação, utilizou-se o software PSIM e a configuração do circuito simulado pode ser analisada na Figura 2. O valor de tensão CC de entrada \bar{V}_i foi de 178 V. Os valores dos outros componentes são os mesmos utilizados na prática de laboratório (Tabela III).

Com um Duty Cycle do PWM igual a 0,3, simulou-se o circuito e obteve-se a forma de tensão de saída, como mostra a Figura 3.

Outros pontos de verificação são, a corrente no diodo e corrente no indutor (Figura 4).

Para fins de análise simulou-se a mesma configuração de

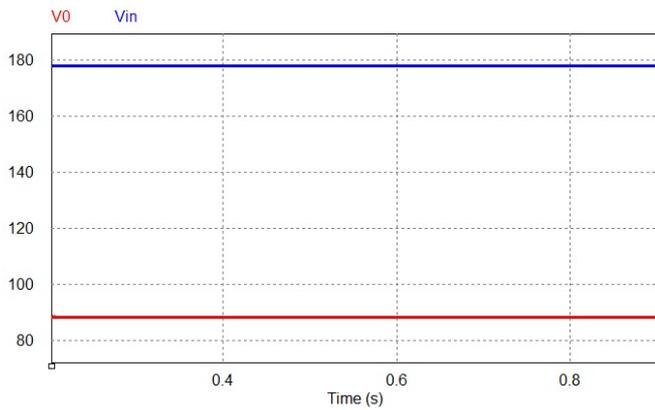


Fig. 3. Tensão de entrada V_{in} em azul, tensão de saída V_0 em vermelho $D=0.3$.

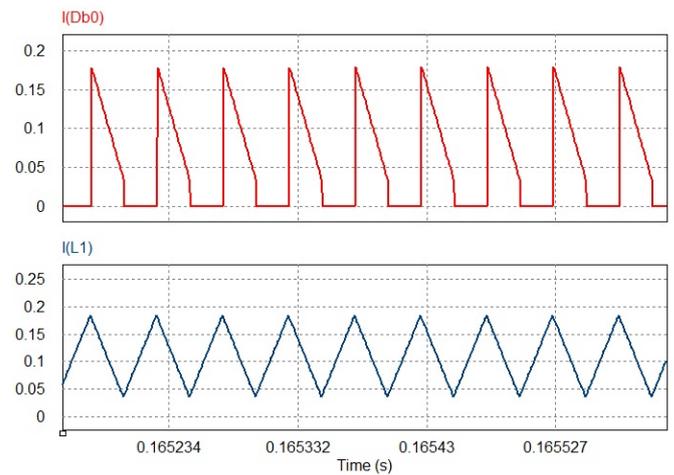


Fig. 6. Corrente no Indtor em azul, corrente no Diodo em vermelho $D=0.5$.

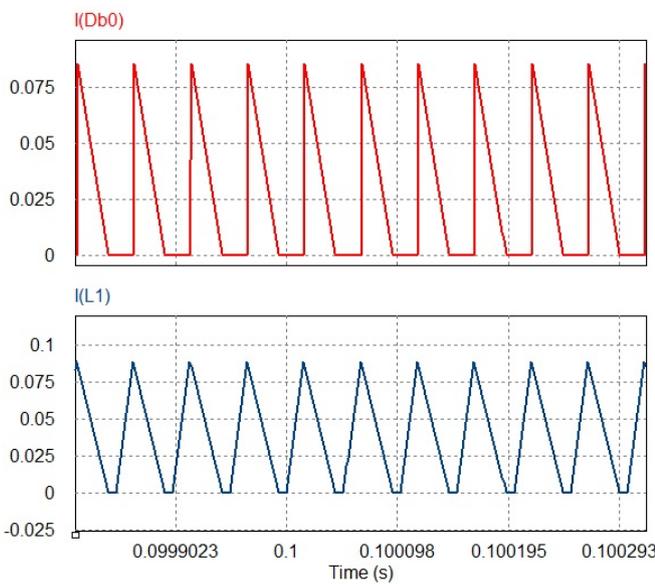


Fig. 4. Corrente no Indtor em azul, corrente no Diodo em vermelho $D=0.3$.

circuito com Duty Cycle maiores.

Para $D=0.5$ pode-se analisar a forma de tensão de saída (Figura 5) e corrente no indutor e diodo (Figura 6). A mesma análise pode ser realizada para $D=0.7$ (Figura 7 e Figura 8).

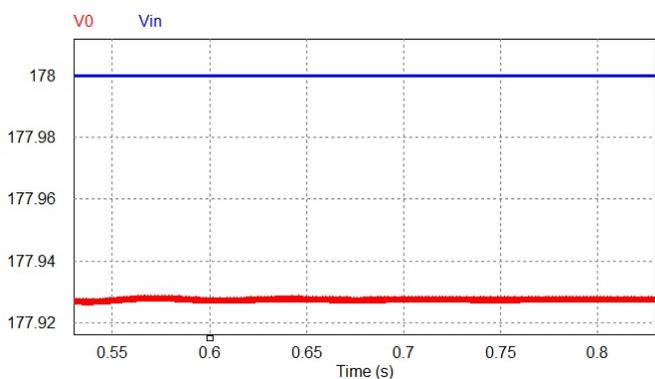


Fig. 5. Tensão de entrada V_{in} em azul, tensão de saída V_0 em vermelho $D=0.5$.

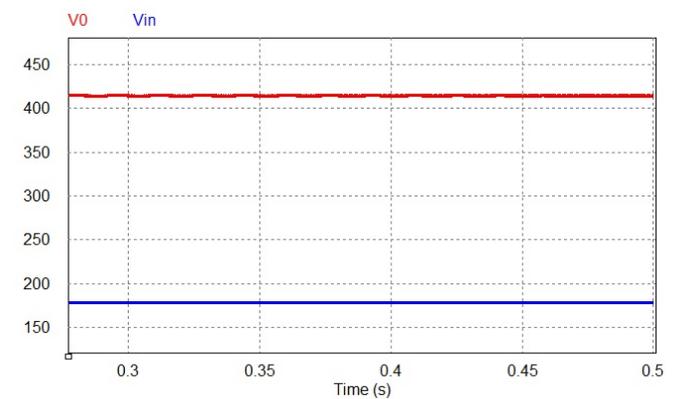


Fig. 7. Tensão de entrada V_{in} em azul, tensão de saída V_0 em vermelho $D=0.7$.

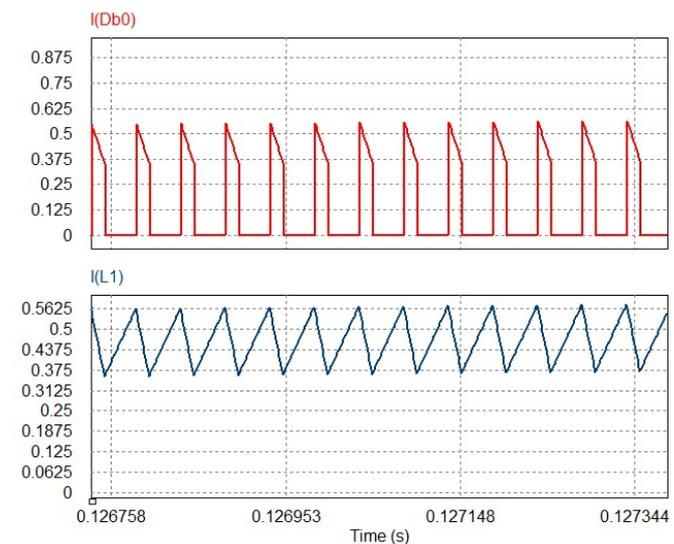


Fig. 8. Corrente no Indtor em azul, corrente no Diodo em vermelho $D=0.7$.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Tabela III apresenta a lista de componentes utilizados. O circuito montado em laboratório segue a mesma

TABELA III

Componentes adicionais utilizados na montagem do conversor Buck-Boost

Componente	Descrição	Quantidade
Resistor shunt	0,10 Ω – 5 W	1
Diodo <i>Ultra Fast</i>	UF4007	1
MOSFET	IRF740	1
Capacitor	220 μ F x 250 V	1
Conector Borne	KRE 2 Vias	1

configuração apresentada na Figura 2. Para a medições utilizou-se um osciloscópio digital.

Para a primeira medida realizada, utilizou-se um Duty Cycle menor que 0.5 (largura de pulso de 5,56 μ s). A forma de onda do PWM utilizado nesta etapa está ilustrado na Figura 9.

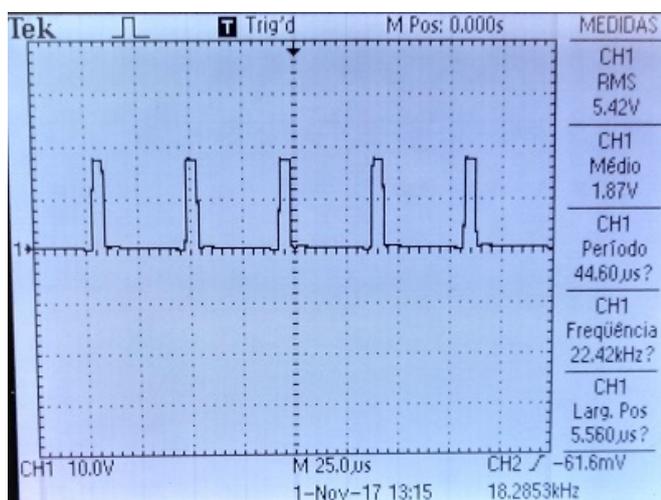
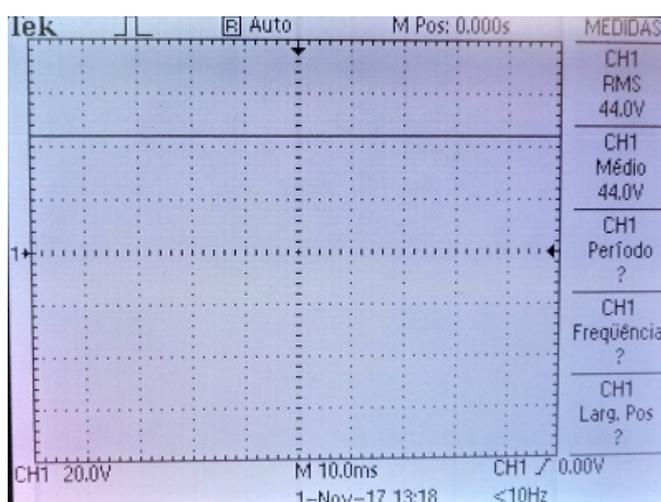


Fig. 9. Tensão de saída PWM D<0.5.

As formas de onda de tensão de saída e tensão sobre o diodo podem ser analisadas nas imagens Figura 10 e Figura 11 respectivamente.

Fig. 10. Tensão de saída V_0 D<0.5.

Para o Indutor, também mediu-se tensão e corrente, como mostram as Figura 12 e Figura 13.

Para continuidade da análise do funcionamento do circuito,

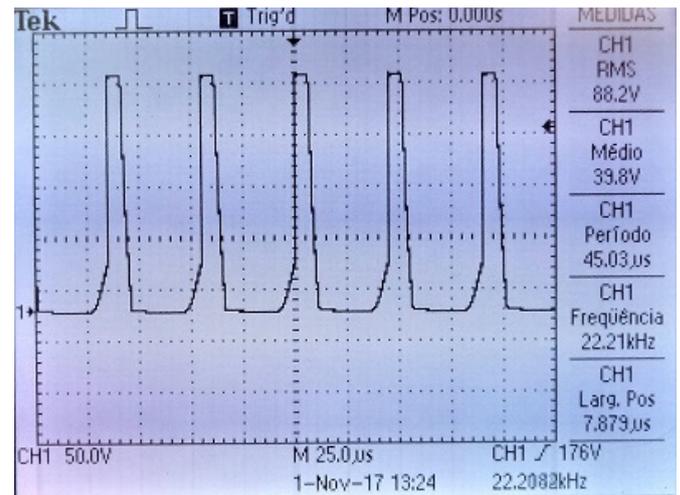


Fig. 11. Tensão sobre diodo D<0.5.

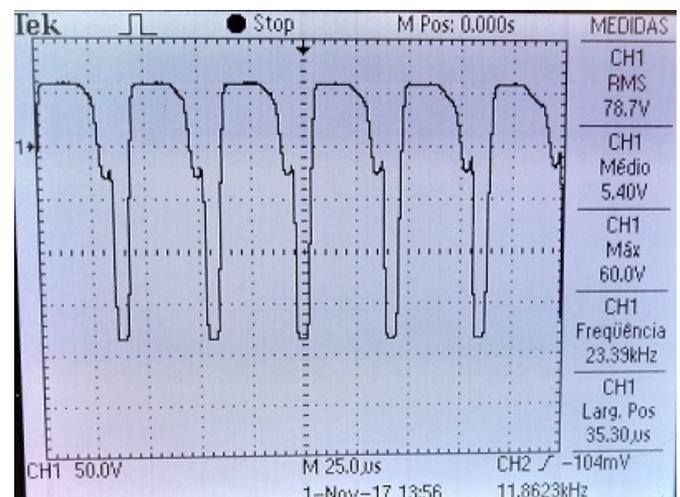


Fig. 12. Tensão sobre indutor D<0.5.

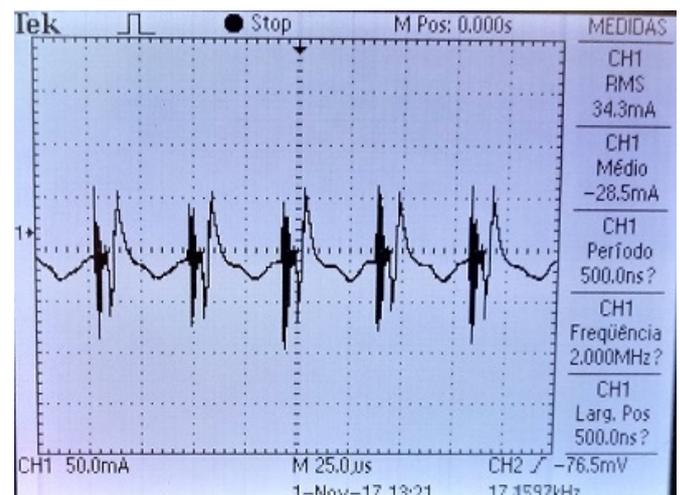


Fig. 13. Corrente no indutor D<0.5.

a largura de pulso foi alterada de modo a se obter um Duty Cycle de aproximadamente D=0.5 (Figura 14).

Desta forma, com D=0.5, obteve-se a tensão de saída (Figura 15).

Assim como nos passos anteriores, obteve-se as formas de

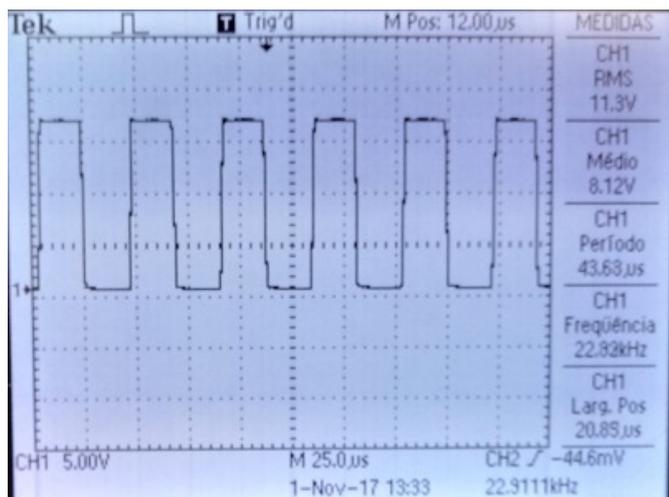


Fig. 14. Tensão de saída PWM D=0.5.

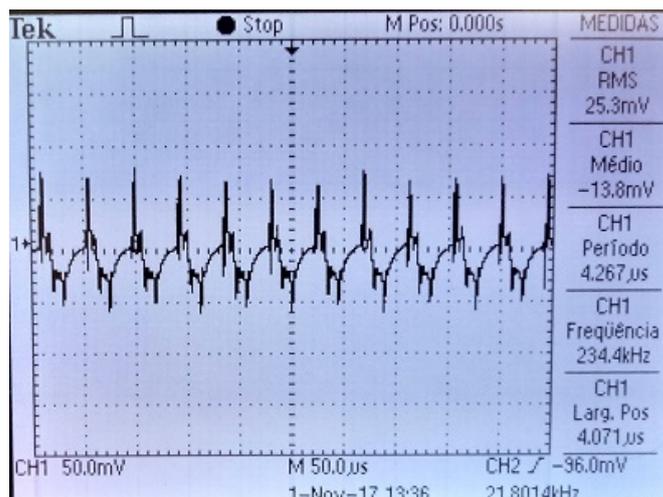


Fig. 17. Corrente no indutor D=0.5.

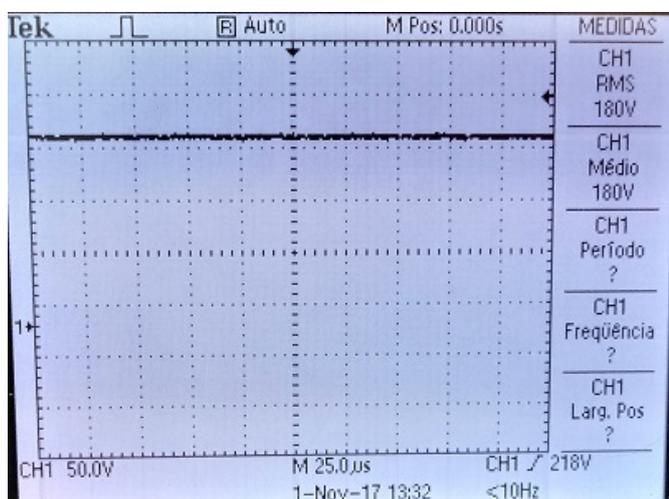


Fig. 15. Tensão de saída V_0 D=0.5.

onda de tensão sobre o diodo (Figura 16) e corrente no indutor (Figura 17).

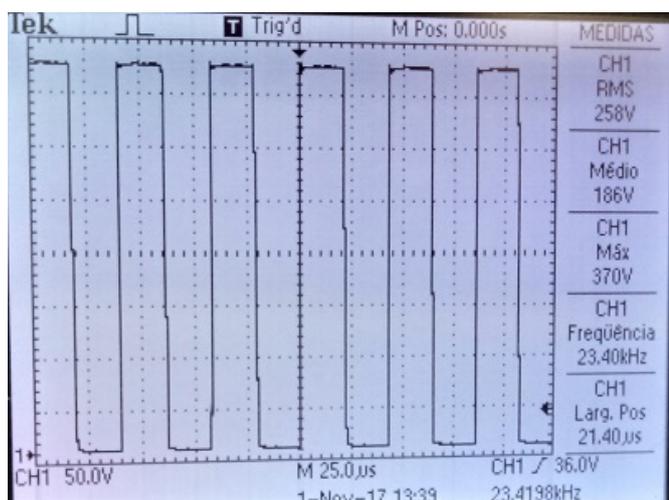


Fig. 16. Tensão sobre diodo D=0.5.

Para finalizar a experiência, alterou-se novamente a largura de pulso da saída PWM, desta vez com o intuito de se obter um Duty Cycle $D > 0.5$. A largura de pulso utilizada pode ser

analisada na Figura 18.

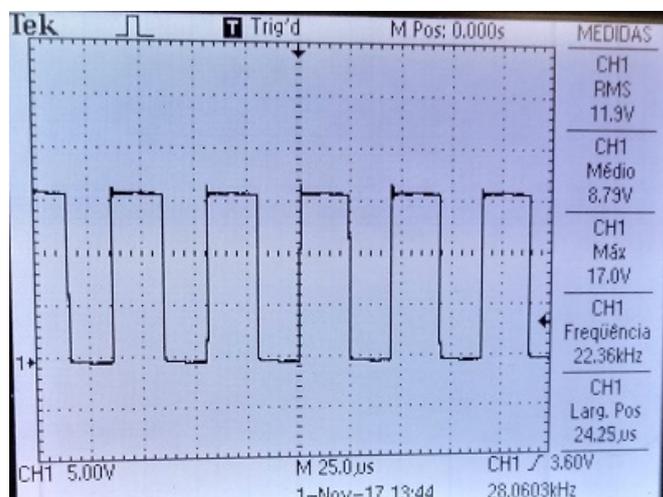


Fig. 18. Tensão de saída PWM D>0.5.

Para esta nova configuração de PWM, obteve-se a forma de onda de tensão de saída que está ilustrada na Figura 19.

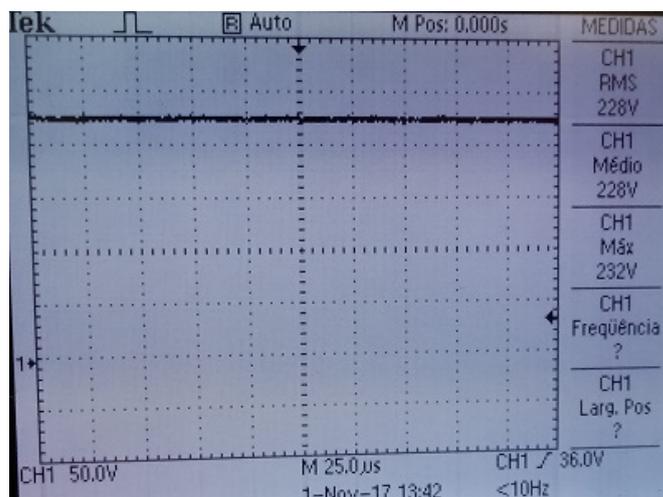


Fig. 19. Tensão de saída V_0 D>0.5.

Por fim obteve-se a forma de onda de tensão sobre o diodo (Figura 20), tensão sobre o indutor (Figura 21) e corrente no

indutor (Figura 22).

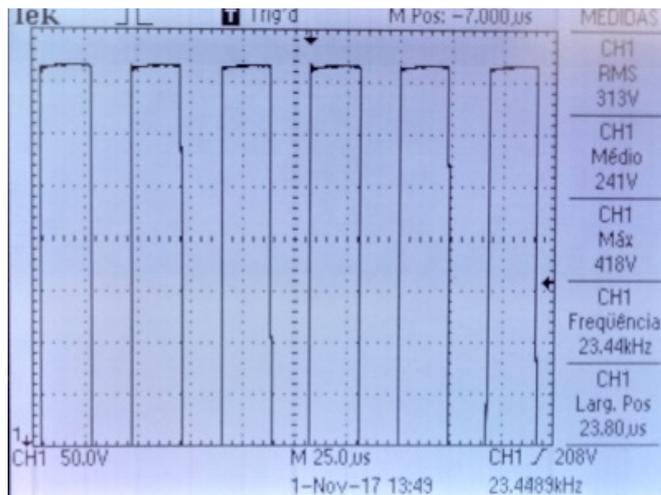


Fig. 20. Tensão sobre diodo $D > 0.5$.

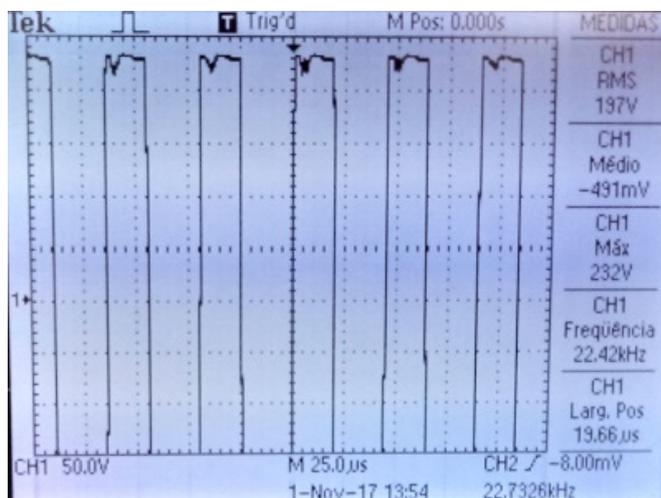


Fig. 21. Tensão sobre indutor $D > 0.5$.

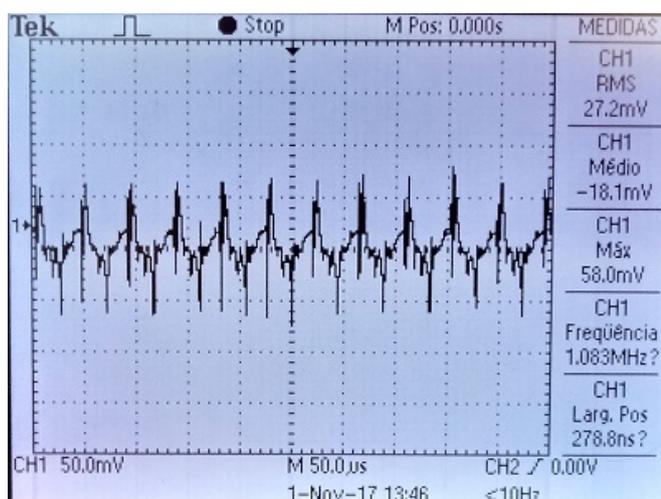


Fig. 22. Corrente no indutor $D > 0.5$.

V. CONCLUSÕES

Apesar das dificuldades encontradas na montagem experimental, como falha de componentes, inexperiencia dos operadores e/ou mal funcionamento dos equipamentos, as análises sobre o comportamento de um conversor Buck-Boost foi realizada com sucesso. O levantamento das formas de onda dos pontos especificados experimentalmente (Resultados experimentais, pag. 3), foi essencial para a comparação com dados teóricos e simulações.

Assim como em simulação, nos resultados experimentais foi possível verificar a mudança da tensão de saída com a variação do Duty Cycle fornecido pelo PWM. Com um $D < 0.5$, obteve-se um valor de tensão de saída menor que o valor de tensão de entrada (Figura 3 e Figura 10), onde a tensão aplicada na entrada do circuito foi de aproximadamente 178 V. Com o mesmo valor de tensão de entrada, porém com um valor de $D = 0.5$, obteve-se na saída aproximadamente o valor de tensão de entrada (Figura 5 e Figura 15). E por fim, com $D > 0.5$ obteve-se um valor de tensão de saída superior ao valor de entrada (Figura 7 e Figura 19). As configurações e resultados aqui citados confirmam a operação do conversor Buck-Boost e validam a teoria apresentada.

REFERÊNCIAS

- [1] P. A. Batschauer, "Conversores CC-CC." [Online]. Available: http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/batschauer/materiais/4_3_Buck_Boost.pdf
- [2] I. Barbi and D. C. Martins, *Conversores CC-CC Básicos Não-Isolados*, E. dos Autores, Ed., 2006.
- [3] C. A. Petry, "Introdução aos Conversores CC-CC," Aug. 2011. [Online]. Available: http://www.professorpetry.com.br/Bases_Dados/Apostilas_Tutoriais/Introducao_Conversores_CC_CC.pdf