

# PROCESSADOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DE BAIXO CUSTO PARA ALIMENTAR ELETRODOMÉSTICOS DE UMA COZINHA COMUNITÁRIA

**Juliana Carvalho de Alencar** – julianac.alencar2@gmail.com

**Lucca Lemos Costa Guerra** – lucca.lemos22@gmail.com

**Raniere Paulino de Medeiros Filho** – ranierepaulino22@gmail.com

**Emanuel de Araújo Mota** – emanuelmotaufcee@gmail.com

**René Pastor Torrico Bascopé** – rene@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

**Resumo.** O artigo apresenta a análise de um processador de energia fotovoltaica de baixo custo para alimentar eletrodomésticos básicos de uma cozinha comunitária. O mesmo é composto por dois estágios de energia elétrica, sendo o primeiro um conversor CC-CC Boost que condiciona a tensão de strings de quatro painéis em série, resultando em uma tensão do barramento CC com valor de  $V_{cc}=250$  V; e o segundo um inversor que transforma a tensão contínua do barramento CC em tensão alternada com formato de onda quadrada de três níveis e valor eficaz de 220 V. Devido à pouca durabilidade de baterias de chumbo-ácido quando ocorre descargas profundas e o custo elevado de baterias com durabilidade longa, a proposta visa a não utilização de baterias. Sendo assim, o sistema terá disponibilidade de energia enquanto tiver radiação solar adequada. Para a aplicação do sistema proposto, é fundamental conhecer a potência consumida pelos eletrodomésticos, onde a informação é contida no catálogo do fabricante. Com relação ao circuito eletrônico, são feitos os estudos qualitativo, quantitativo e o exemplo de projeto para uma potência ativa de saída de 2 kW, além de um teste experimental com a implementação do inversor projetado.

**Palavras-chave:** Sistema Off-Grid, Conversor de Baixo Custo, Sistema Fotovoltaico.

## 1. INTRODUÇÃO

A situação atual do Brasil é de instabilidade econômica, com o agravante da pandemia, que tem afetado drasticamente o preço do item mais usado pelas famílias para o preparo de alimentos: o gás de cozinha. Segundo dados da Agência Nacional de Petróleo - ANP, houve um aumento de quase 30% no valor do GLP (gás liquefeito de petróleo) desde o início do ano de 2021 (Lima e Rios, 2021). Além disso, o país enfrenta uma crise energética, causada pela pior escassez hidrológica desde 1930 (ONS, 2021), o que culminou em aumentos significativos nas tarifas das contas de energia, que devem continuar em ascensão nos próximos anos. Nesse contexto, a população de baixa renda é a mais prejudicada, que, como solução, recorrem ao uso de lenha e carvão vegetal para cozinhar, sendo um retrocesso em saúde e qualidade de vida (Nunes, 2021). Para mitigar este problema, uma opção é a criação de programas sociais e o desenvolvimento de cozinhas comunitárias usando fogões térmicos e energia elétrica vinda de painéis fotovoltaicos.

Diante do exposto, é perceptível a necessidade e urgência de se buscar fontes alternativas de energia para o uso culinário, principalmente para essa parcela mais carente da população. A queima de lenha como paliativo a esta crise, tal como mostra a Fig. 1(a), é altamente poluente e pode causar desmatamento da vegetação, que já está bastante comprometida na atualidade. Como o Brasil tem grande potencial energético vindo da radiação solar durante grande parte do ano, existe a possibilidade de aproveitar de maneira direta e/ou indireta, como são mostradas nas Figs. 1(b) e 1(c), respectivamente. A implementação da energia limpa para as comunidades carentes através de cozinhas comunitárias pode ser feita através de programas sociais vindos de governos e/ou da iniciativa privada.

Analisando algumas topologias já implementadas de sistemas autônomos (Stand-alone Systems ou Off-Grid Systems) (Thang, T. V., 2015)(Wang, W., 2016)(Singh, Y., 2020), é possível vislumbrar um sistema modificado com as principais características sendo baixo custo e pouca manutenção. Nesta aplicação específica, não se pretende usar baterias pelos seguintes motivos: (1) pouca durabilidade das baterias de chumbo-ácido tocante a descargas profundas (200 dias) (Johnson Controls), e (2) custo elevado das baterias de durabilidade longa (6.000 dias) (Unipower). Os valores são indicados considerando uma descarga profunda por dia. Assim, a disponibilidade de energia na cozinha comunitária seria proporcionada quando há radiação solar. Porém, não se descarta a possibilidade de adicionar um banco de baterias ao sistema, pois, com o passar dos anos, espera-se que as baterias de Lítio-Ion, LiFePo e outras, possam reduzir de preço.

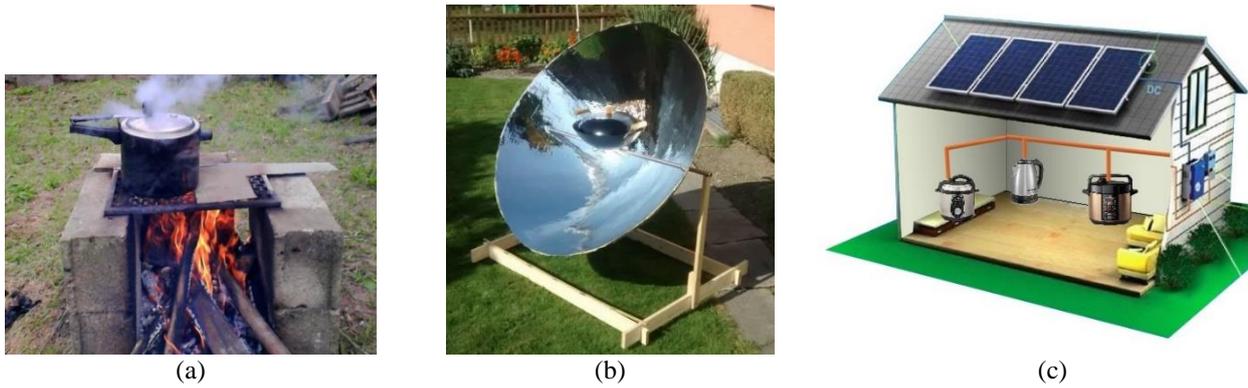


Figura 1. (a) Fogão queimando lenha. (b) Fogão solar. (c) Cozinha com energia fotovoltaica. Fonte: *Google Imagens*.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DE ALGUNS ELETRODOMÉSTICOS

Atualmente, encontra-se no mercado uma vasta diversidade de eletrodomésticos voltados para o uso culinário. Portanto, em uma cozinha, podem ser utilizados variados tipos de eletrônicos, com diferentes finalidades culinárias, capacidades em volume e potências. Ter conhecimento das potências dissipadas por eletrodomésticos usuais nesse âmbito é de grande relevância para se ter noção das dimensões do circuito de potência necessário para sua alimentação.

Na Tabela 1 são apresentadas as especificações das potências de alguns eletrodomésticos que funcionam com tensão eficaz (rms) nominal de 220 V. Para realizar o teste experimental deste artigo, foi usado o eletrodoméstico apresentado na linha 3 da Tab. 1 com capacidade de 4 L.

Tabela 1. Características de eletrodomésticos de cozinha.

Eletrodoméstico (220V)		Capacidades (L)		Marcas		Potências (W)		Referência ( <i>site</i> )
1	Panela elétrica	4	5,6	Philco	Britânia	1200	1500	Mercado Livre
2	Panela elétrica de arroz	1	1,8	Mondial	Electrolux	400	630	Magazine Luiza
3	Panela elétrica de pressão	4	6	Agratto	Midea	800	950	Mercado Livre
4	Fritadeira elétrica sem óleo	2,2	3,5	Philips Walita	Mondial	1425	1500	Polishop / Magazine Luiza

Fonte: Dados coletados de *sites* da *internet*.

## 3. PROPOSTA DO PROCESSADOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

### 3.1 Topologia

A topologia do processador de energia fotovoltaica mostrada na Fig. 2, é dividida em dois estágios, no lado esquerdo está o primeiro estágio dado pelo conversor CC-CC *Boost*, e no lado direito está o segundo estágio dado pelo inversor. No primeiro estágio, a fonte de alimentação principal é formada por *strings* de quatro painéis fotovoltaicos associados em série e um capacitor eletrolítico (Cpv) em paralelo para proporcionar a característica de fonte de tensão ( $V_i$ ); indutor de armazenamento (L1); chave controlada (S1); diodo de transferência (D1) e capacitor (C1) no barramento CC funcionando como fonte de tensão. O segundo estágio é constituído por quatro chaves controladas (S2-S5) e a carga representado por  $R_o$ . As especificações do processador de energia estão postas na Tab. 2.

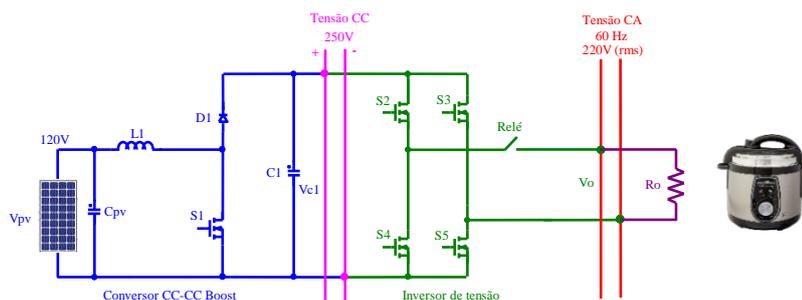


Figura 2: Topologia do processador de energia.

Tabela 2: Especificações do processador de energia.

Entrada	
$V_{imin} = 100 V$	Tensão de entrada mínima
$V_{imax} = 160 V$	Tensão de entrada máxima
Strings de 4 painéis de 245 W em série	
Saída	
$P_o = 2 kW$	Potência ativa de saída
$S_o = 2 kVA$	Potência aparente de saída
$V_{oef} = 220 V$	Tensão eficaz de saída
$f_i = 60 Hz$	Frequência de saída

### 3.2 Análise Qualitativa, Quantitativa e Exemplo de Projeto do Conversor Boost

#### (a) Análise Qualitativa

Nesta aplicação, o estágio conversor CC-CC Boost mostrado nas Figs. 2 e 3, opera em modo de condução contínua (MCC) usando modulação por largura de pulso PWM (*Pulse-Width Modulation*). Ele apresenta como características: fonte de corrente na entrada; fonte de tensão na saída; e a tensão de saída maior que a tensão de entrada. Os arranjos fotovoltaicos que alimentam o conversor somam uma potência de 1960 W, além disso, o processador de energia não terá o uso de baterias, dessa forma, não se faz necessário um algoritmo de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) no controle, pois a potência instalada fotovoltaica sempre será maior em relação à potência consumida pela carga a ser utilizada. Sendo assim, o conversor opera em malha fechada usando o controle por modo corrente média (*average current mode control*). A descrição das etapas de operação do conversor CC-CC Boost é divulgada na literatura técnica (Hart, W. D, 2012)( Rashid, M. H., 2017).

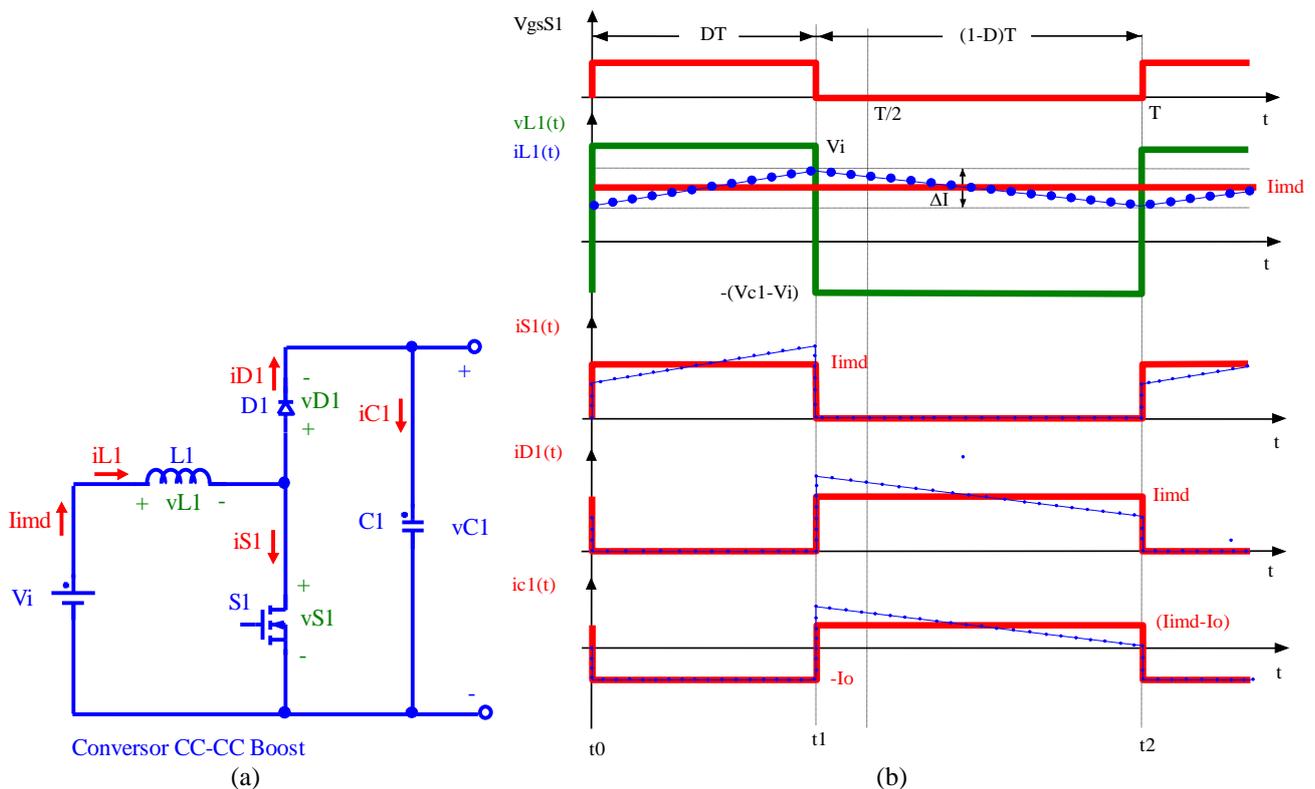


Figura 3: Conversor CC-CC Boost: (a) Topologia, (b) Formas de onda básicas.

#### (b) Análise Quantitativa e Exemplo de Projeto

O conversor CC-CC Boost sob análise obedece às especificações apresentadas na Tab. 3.

Tabela 3: Especificações do conversor CC-CC *Boost*.

<b>Entrada</b>	
$V_{imin}=100\text{ V}$	Tensão de entrada mínima
$V_{imax}=160\text{ V}$	Tensão de entrada máxima
<b>Saída</b>	
$P_{cc}=2,105\text{ kW}$	Potência ativa de saída
$V_{cc}=250\text{ V}$	Tensão de saída
<b>Considerações</b>	
$f_s=20\text{ kHz}$	Frequência de comutação
$\Delta IL=0,15I_{imd}$	Ondulação de corrente no indutor
$V_{ccmin}=210\text{ V}$	Tensão de saída mínima
$\eta_b=0,95$	Rendimento do conversor.
$\Delta t=8,33\text{ ms}$	Tempo de manutenção ( <i>hold-up time</i> )

A potência média de entrada é dada pela Eq. (1).

$$P_i = \frac{P_{cc}}{\eta_b} = \frac{2105}{0,95} = 2216\text{ W} \quad (1)$$

A corrente média de entrada máxima ocorre para a tensão de entrada mínima considerando a potência nominal.

$$I_{imdmax} = \frac{P_i}{V_{imin}} = \frac{2216}{100} = 22,16\text{ A} \quad (2)$$

A razão cíclica é determinada a partir do ganho estático operando em MCC.

$$D_{Max} = 1 - \frac{V_{imin}}{V_{cc}} = 1 - \frac{100}{250} = 0,6 \quad (3)$$

### **Indutor $L_I$**

A indutância e os parâmetros de corrente necessários para dimensionar o indutor são dados pelas Eqs. (4) à (6).

$$L = \frac{V_{imin} \cdot D_{Max}}{\Delta IL \cdot f_s} = \frac{100 \cdot 0,6}{3,33 \cdot 20000} = 900,9\mu\text{H} \quad (4)$$

$$I_{L_{ef}} = I_{imdmax} = 22,16\text{ A} \quad (5)$$

$$I_{L_{pico}} = I_{imdmax} + \frac{\Delta IL}{2} = 22,16 + \frac{3,33}{2} = 23,83\text{ A} \quad (6)$$

### **Chave $S_1$**

Os parâmetros para escolher a chave de potência são encontrados através das Eqs. (7) à (9).

$$IS1_{ef} = I_{imdmax} \cdot \sqrt{D_{Max}} = 22,16\sqrt{0,6} = 17,17\text{ A} \quad (7)$$

$$IS1_{md} = I_{imdmax} \cdot D_{Max} = 22,16 \cdot 0,6 = 13,3\text{ A} \quad (8)$$

$$VS1_{Max} \geq V_{cc} \rightarrow VS1_{Max} \geq 250\text{ V} \quad (9)$$

### Diodo D1

Os parâmetros para o dimensionamento do diodo ultrarrápido são dados pelas Eqs. (10) à (12).

$$ID1_{ef} = I_{imdmax} \cdot \sqrt{1 - D_{Max}} = 22,16\sqrt{1 - 0,6} = 14,02A \quad (10)$$

$$ID1_{md} = I_{imdmax} \cdot D_{Max} = 22,16 \cdot (1 - 0,6) = 8,87A \quad (11)$$

$$VD1_{rev} \geq V_{cc} \rightarrow VD1_{rev} \geq 250V \quad (12)$$

### Capacitor C1

Considerando a carga não linear (inversor), baseado em (Todd, 1999) as expressões de dimensionamento são as Eqs. (13) e (14).

$$C_o = \frac{2 \cdot P_{cc} \cdot \Delta t}{V_{cc}^2 - V_{ccmin}^2} = \frac{2 \cdot 2105 \cdot 8,33 \cdot 10^{-3}}{250^2 - 210^2} = 1,906 \cdot 10^{-3} F \quad (13)$$

$$VC1_{Max} \geq V_{cc} \rightarrow VC1_{Max} \geq 250V \quad (14)$$

### 3.3 Análise Qualitativa, Quantitativa e Exemplo de Projeto do Inversor

O inversor mostrado na Fig. 2 usa modulação PWM assimétrica com frequência de 60 Hz, e entre um braço e outro os pulsos são deslocados em  $\pi$  radianos elétricos, tal como mostra a Fig. 4. As chaves superiores S2 e S3 tem largura de pulso de  $(\pi - 2\alpha)$  e as chaves inferiores S4 e S5 tem largura de pulso de  $(\pi + 2\alpha)$ . Usando esta modulação, a tensão de saída,  $v_o$ , apresenta três níveis de tensão ( $V_{cc}$ , 0,  $-V_{cc}$ ), onde a amplitude da tensão de entrada  $V_{cc}$  é garantida pelo estágio do conversor CC-CC *Boost*. As etapas de operação são similares as apresentadas em (Hart, W. D., 2012).

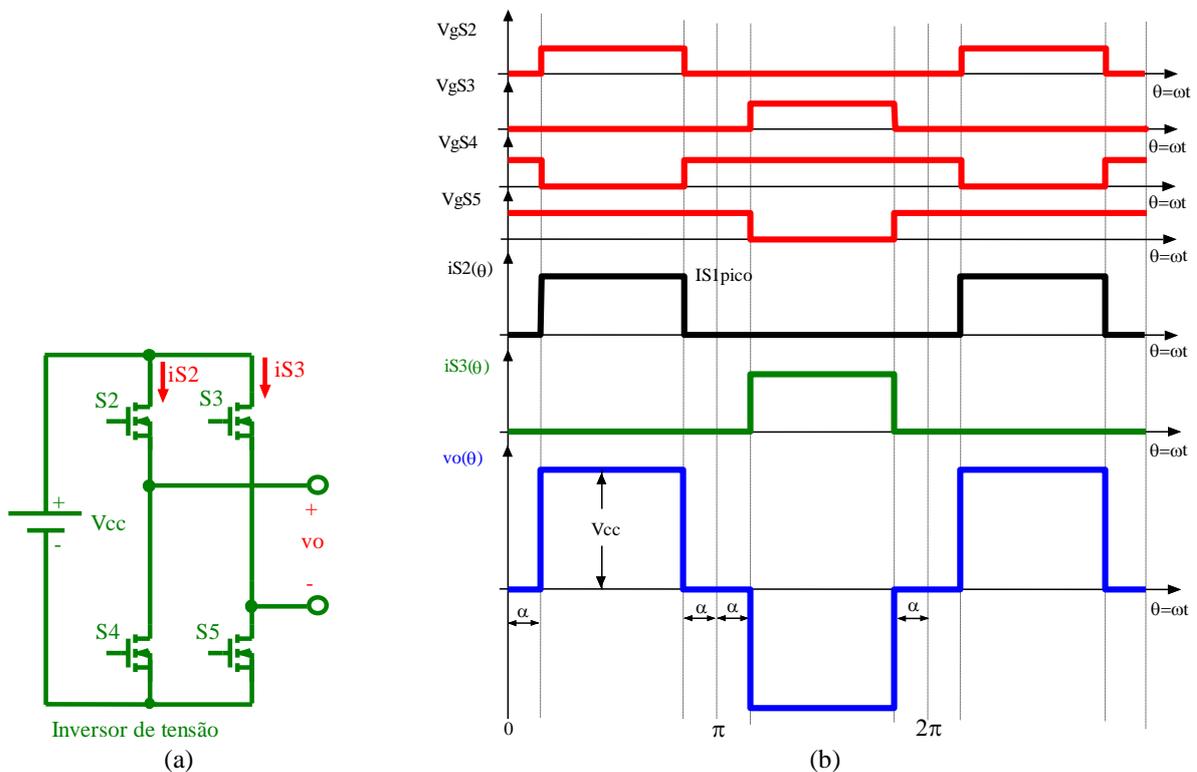


Figura 4: Inversor de três níveis. (a) Topologia. (b) Formas de onda básicas.

**(b) Análise Quantitativa e Exemplo de Projeto**

O inversor sob análise obedece às especificações apresentadas na Tab. 4.

Tabela 4: Especificações do inversor.

Entrada	
$V_{cc}=250 V$	Tensão de entrada
Saída	
$P_o=2 kW$	Potência ativa de saída
$S_o=2 kVA$	Potência aparente de saída
$V_{oef}= 220 V$	Tensão eficaz de saída
$f_i=60 Hz$	Frequência de saída

Considerando um rendimento  $\eta_i = 0,95$  para o inversor, a potência média no barramento é dada pela Eq. (15).

$$P_{cc} = \frac{P_o}{\eta_i} = \frac{2000}{0,95} = 2105,26W \quad (15)$$

A tensão eficaz de saída é definida pela Eq. (16).

$$V_{oef} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi-\alpha} V_{cc}^2 d\theta} \rightarrow V_{oef} = V_{cc} \cdot \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{\pi}} \quad (16)$$

O ângulo  $\alpha$  da modulação PWM deve ser ajustado no seguinte valor dado pela Eq. (17).

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{V_{oef}}{V_{cc}} \right)^2 \right] = \frac{\pi}{2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{220}{250} \right)^2 \right] = 0,3544 \text{ rad} \quad (17)$$

Que corresponde a  $\alpha = 20,3^\circ$  elétricos.

**Resistor  $R_o$** 

Dada a potência ativa de saída e a tensão eficaz, a resistência do resistor de carga é encontrada pela Eq. (18).

$$R_o = \frac{V_{oef}^2}{P_o} = \frac{220^2}{2000} = 24,2\Omega \quad (18)$$

**Chaves S2-S5**

Quando a carga é resistiva pura, como é o caso de muitos eletrodomésticos de uso culinário, a mesma corrente circula pelas chaves S2-S5. A corrente de pico que circula através das chaves é dada pela Eq. (19).

$$IS2_{pico} = \frac{V_{cc}}{R_o} = \frac{250}{24,2} = 10,33A \quad (19)$$

A corrente eficaz e a corrente média através das chaves são dadas pelas Eqs. (20) e (21).

$$IS2_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{(\pi-\alpha)} (IS2_{pico})^2 d\theta} = IS2_{pico} \left[ \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\pi}} \right] = 10,33 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{0,3544}{\pi}} = 6,43A \quad (20)$$

$$IS2_{md} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{(\pi-\alpha)} IS2_{pico} d\theta = IS2_{pico} \left( \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\pi} \right) = 10,33 \cdot \left( \frac{1}{2} - \frac{0,3544}{\pi} \right) = 4,0A \quad (21)$$

As chaves de potência devem ser escolhidas com tensões acima do valor indicado pela Eq. (22).

$$VS2_{Max} \geq V_{cc} \rightarrow VS2_{Max} = 250V \quad (22)$$

## 4. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

### 4.1 Circuito de Simulação

A Fig. 5 mostra o circuito de simulação no programa PSIM. O módulo fotovoltaico do PSIM foi configurado usando 2 strings de 4 painéis em série, totalizando 8 painéis, modelo Yingli Solar YL245P-29b (245 W), cuja as características de cada módulo são: tensão na potência máxima de 29,6 V; corrente na potência máxima de 8,28 A; tensão a circuito aberto de 37,5 V; corrente de curto-circuito de 8,83 A. O conversor CC-CC Boost opera em malha fechada usando o controle por modo corrente média, sendo a malha de corrente com frequência de cruzamento  $f_{ci} = 4$  kHz e a malha de tensão com frequência de cruzamento de  $f_{cv} = 20$  Hz.

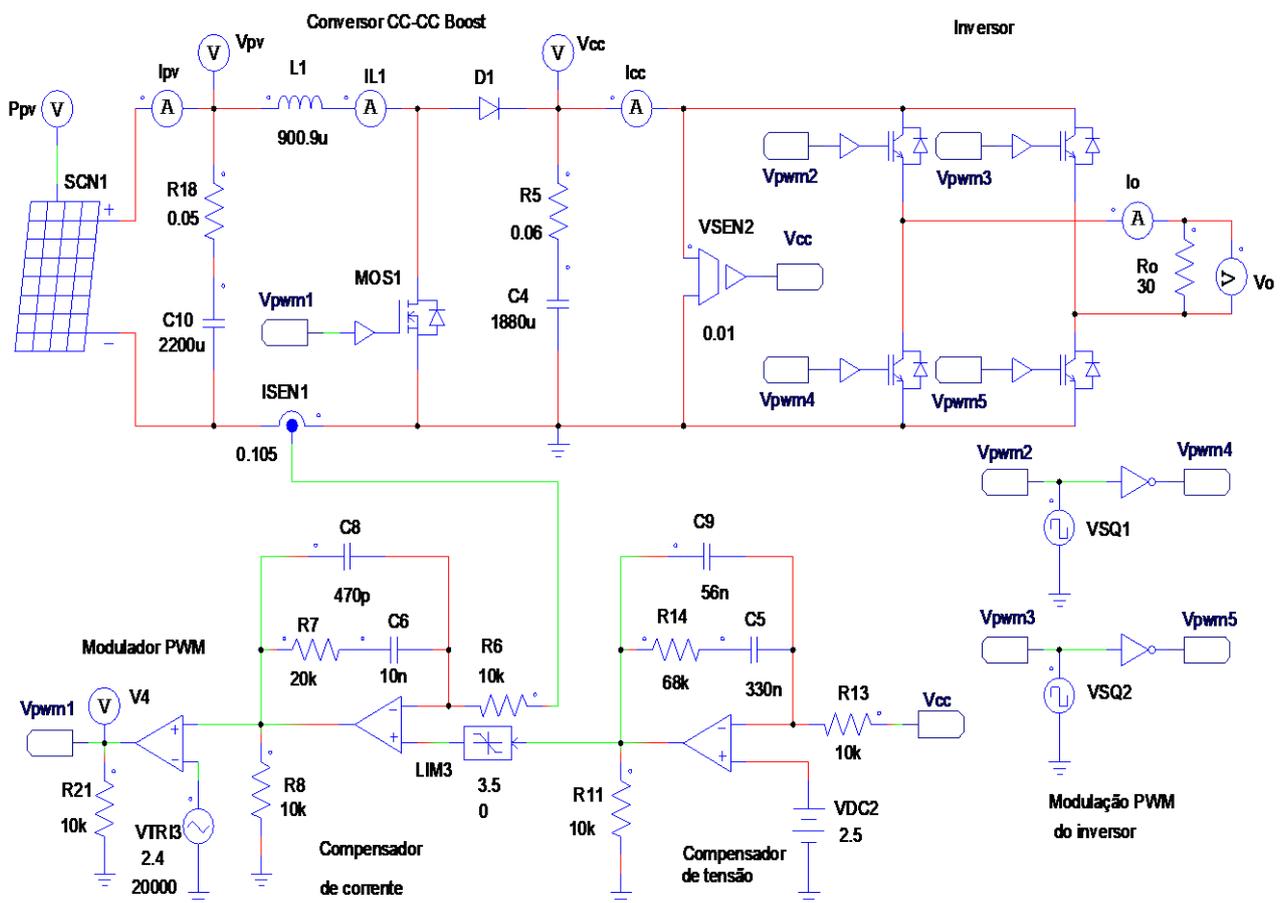


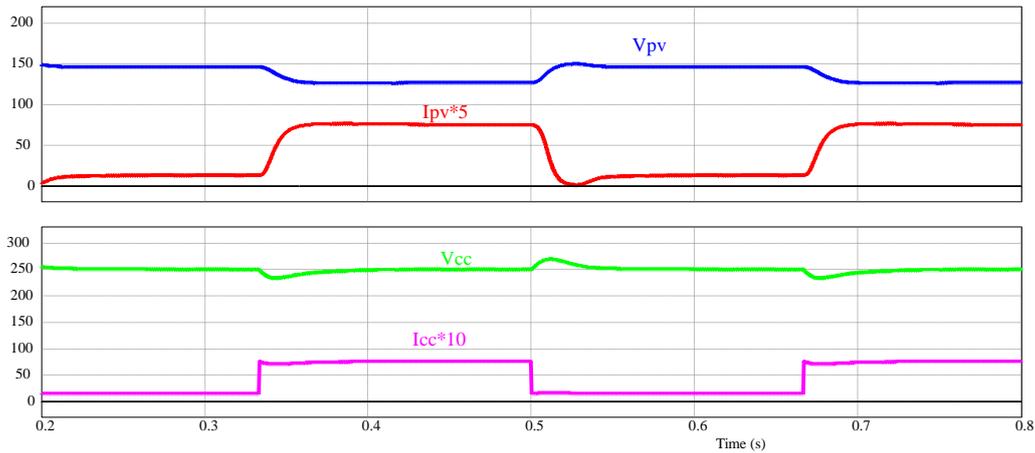
Figura 5: Circuito de simulação.

### 4.2 Formas de Onda de Tensão e Corrente na Entrada e na Saída

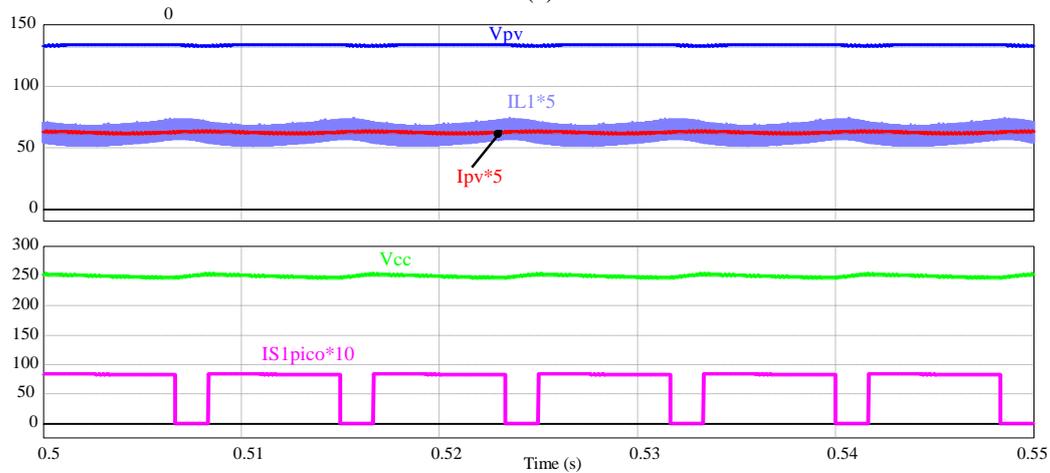
A Fig. 6(a) mostra em condições de degrau de carga na saída do conversor CC-CC Boost de 20% a 100% e vice-versa, a tensão e corrente no modelo do painel fotovoltaico adotado, e a tensão e corrente de saída. Observa-se o bom desempenho dinâmico do conversor, sendo o tempo de resposta na ordem de 100ms.

A Fig. 6(b) corresponde as formas de onda do sistema integrado, onde observando a figura aparecem a tensão e corrente no painel fotovoltaico, assim como a corrente pelo indutor L1. Na sequência estão, a tensão do barramento CC e a corrente drenada pelo inversor. Nota-se que o conversor CC-CC Boost alimenta uma carga não linear e a corrente pulsada de baixa frequência (120 Hz) não chega ao painel fotovoltaico, característica proporcionada com a escolha da técnica de controle.

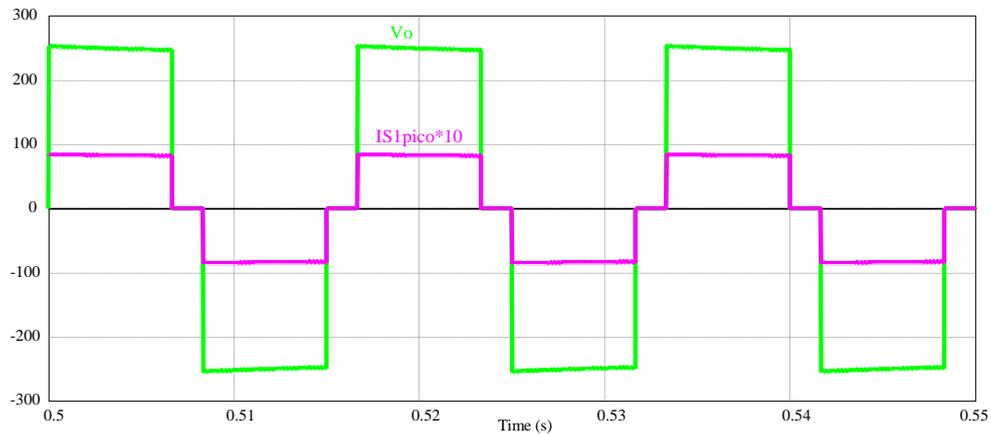
Finalmente, a Fig. 6(c) mostra a tensão e corrente de saída do inversor para uma carga puramente resistiva, que é a característica de muitos eletrodomésticos.



(a)



(b)



(c)

Figura 6: Formas de onda de tensões e correntes: (a) na entrada e saída do conversor CC-CC *Boost* durante degrau de carga; (b) na entrada e no barramento CC para sistema integrado; e (c) na saída do inversor com carga resistiva pura.

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Como mostra a Fig. 7, para o teste experimental o inversor projetado foi alimentado diretamente com 5 módulos de 245 W em série. Com esta quantidade módulos, a tensão de entrada do inversor foi de aproximadamente 150 V, gerando na saída do inversor uma tensão alternada de 110 Vrms. Como a panela elétrica é de 220 Vrms, foi necessário usar um transformador elevador com relação 1:2. A panela de pressão usada foi de 4 litros, onde a cocção de arroz foi realizada

em 20 min e a cocção de feijão em 50 min. Desta maneira, foi confirmada a viabilidade e importância do sistema. Na Fig. 8 estão apresentadas as formas de onda e corrente medidas na entrada do circuito e na carga (panela).

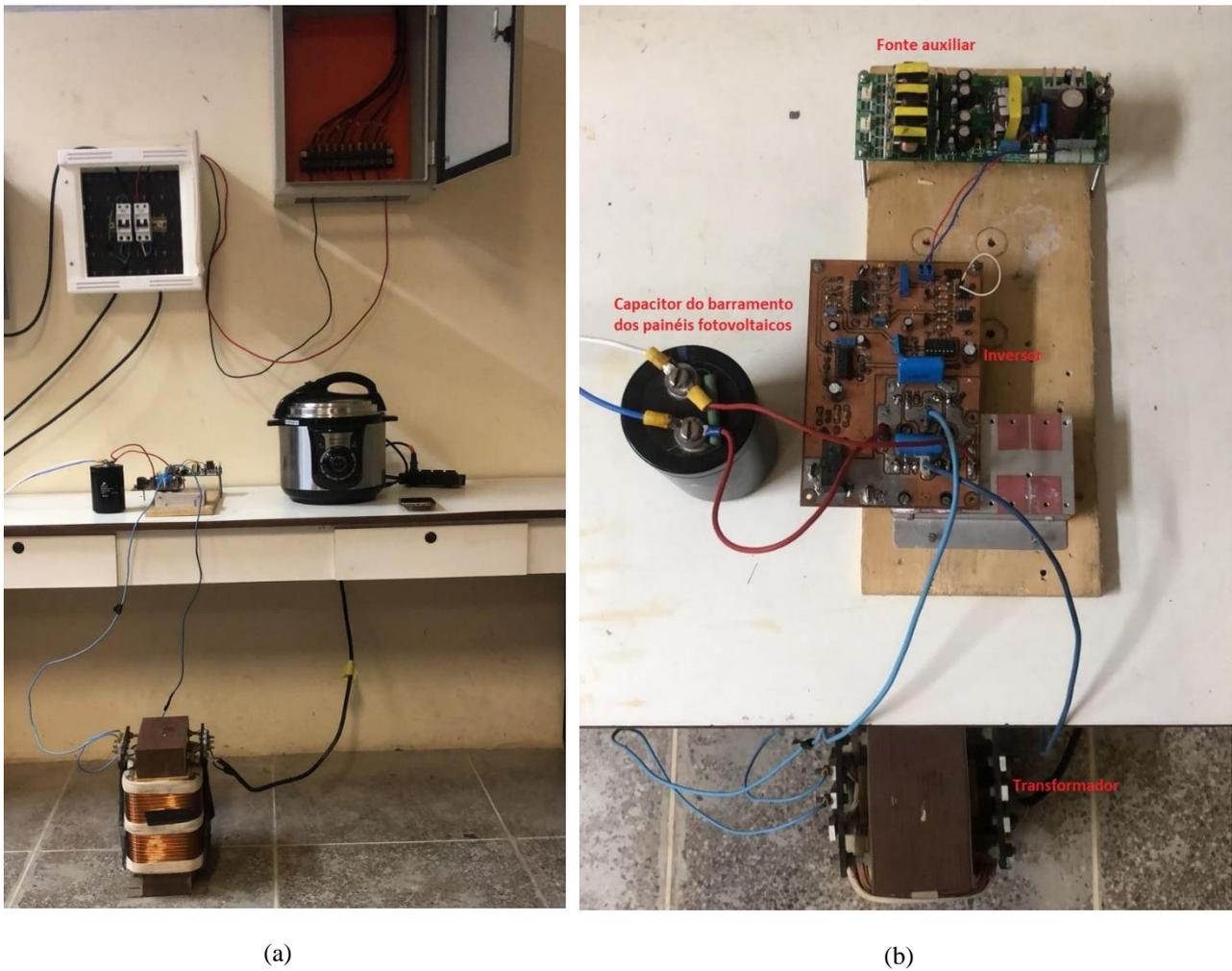


Figura 7: Fotografias de um sistema fotovoltaico com inversor alimentando uma panela de pressão.

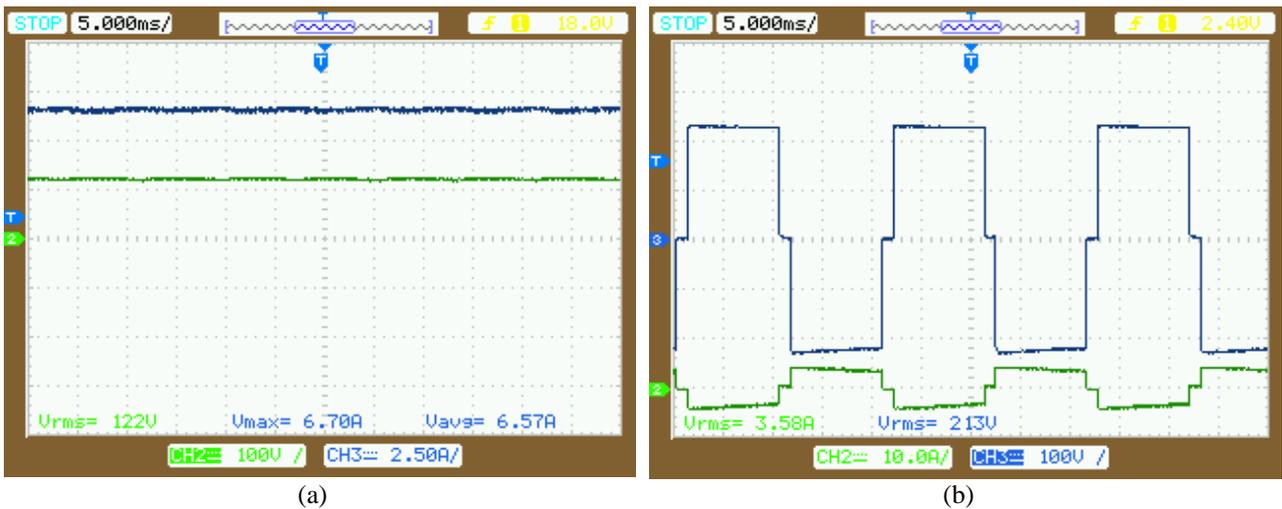


Figura 8: Formas de onda de tensão e corrente: (a) na entrada do circuito (b) na carga.

## 6. CONCLUSÃO

O artigo mostra a viabilidade do desenvolvimento de um processador de energia fotovoltaica para alimentar eletrodomésticos de uma cozinha comunitária. A ideia é que o mesmo seja de baixo custo usando componentes eletrônicos facilmente encontrados no mercado nacional. Os resultados de simulação mostraram um ótimo desempenho do

processador, tocante a sua funcionalidade e rendimento global. Em princípio, neste processador não se vislumbra o uso de baterias pelos fatos explicitados anteriormente, porém, não se descarta seu uso, caso no futuro próximo venham a ser acessíveis para os usuários. A pesquisa está sendo pensada para aplicação em comunidades carentes, onde a compra de gás de cozinha está ficando inviável pelos excessivos aumentos do preço. As cozinhas comunitárias podem ser desenvolvidas e financiadas com recursos de programas sociais de governos, estaduais, federal ou a iniciativa privada mediante incentivo fiscal.

### **Agradecimentos**

Os autores deste artigo agradecem ao CNPq por proporcionar recursos financeiros mediante os “Projetos Universais”, assim como ao Laboratório de Condicionadores de Energia por proporcionar toda a infraestrutura para desenvolver a pesquisa de cunho social.

### **REFERÊNCIAS**

- Hart, W. D., 2012. Eletrônica de Potência: Análise e Projetos de Circuitos, Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. Johnson Controls. Catálogo Técnico Bateria Estacionária Freedom.
- Lima, B; Rios, A. 2021. Gás de cozinha aumenta quase 30% no ano; botijão chega a R\$ 135 <https://noticias.r7.com/brasil/gas-de-cozinha-aumenta-quase-30-no-ano-botijao-chega-a-r-135-01102021>- Acesso em 23/11/2021.
- Nunes, F., 2021. “Lenha já é mais usada que o gás nas cozinhas brasileiras”. <https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasileiro-ja-usa-mais-lenha-do-que-gas-na-cozinha/> - Acesso em 24/11/2021.
- ONS - Organização Nacional do Sistema Elétrico. <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210707-escassez-hidrica-2021.aspx> - Acesso em 24/11/2021.
- Rashid, M. H. (2017). Power electronics handbook, Butterworth-Heinemann.
- Singh, Y.; Singh, B.; Mishra, S., 2020. Multifunctional Control for PV-Integrated Battery Energy Storage System With Improved Power Quality, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 56, No. 6, pp. 6835-6845.
- Todd, C. P., 1999. UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design, Unitrode Application Note
- Thang, T. V.; Ahmed, A.; Kim, C.; Park, J., 2015. Flexible System Architecture of Stand-Alone PV Power Generation With Energy Storage Device, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 30, No. 4, pp. 1386-1396.
- Unipower. Baterias Estacionárias 48V 100Ah 3U Lítio-LFP.
- Wang, W.; Ruan, R., 2016. A Modified Reference of an Intermediate Bus Capacitor Voltage-Based Second-Harmonic Current Reduction Method for a Standalone Photovoltaic Power System, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 31, No. 8, pp. 5562-5573.

### **LOW COST PHOTOVOLTAIC ENERGY PROCESSOR TO POWER HOUSEHOLD APPLIANCES IN A COMMUNITY KITCHEN**

**Abstract.** *This paper presents an analysis of a low-cost photovoltaic energy processor designed to power household appliances within a community kitchen. The topology has two stages, its first one is a DC/DC Boost converter which conditions the voltage in strings from four photovoltaic panels in series to produce a voltage of  $V_{DC} = 250$  V at the DC-bus; the second stage consists of an inverter that converts direct voltage from the DC-bus into an alternate voltage with a three-level square waveform 220 V RMS. Due to both the low durability of the lead-acid batteries from the deep discharge and the high cost of the batteries with a longer life span, the proposal aims to avoid the usage of batteries. Therefore, there is going to be energy available for the system whenever there is suitable solar radiation. Regarding the application, it is fundamental to have knowledge of the power consumption from the household appliances. This information can be found in the manufacturer catalog. Respecting the electronic circuit, studies show the qualitative, quantitative and an example of the project with an output power of 2 kW, including an experimental test with the implementation of the inverter designed.*

**Key words:** *Off-Grid System, Low Cost Converter, Photovoltaic System.*