

# GERAÇÃO FOTOVOLTAICA LIGADA À REDE ELÉTRICA ATRAVÉS DE CONVERSORES DE DOIS ESTÁGIOS

**Alyson Rodrigo Arruda de Souza** (UFC) - rodrigo2arruda15@gmail.com

**João Pedro Campelo de Lima** (UFC) - joaopcdl10@gmail.com

**Yara Machado Oliveira** (UFC) - yara.machadoo@hotmail.com

**Lucas Taylan Medeiros** (UFC) - lucastaylanp@gmail.com

**Adson Bezerra Moreira** (UFC) - adsonbmoreira@gmail.com

## **Resumo:**

*Com o crescente avanço da tecnologia e o aumento do consumo de energia elétrica torna-se necessário a diversificação das matrizes energéticas, sendo a energia solar-fotovoltaica uma das soluções viáveis. A energia dos módulos fotovoltaicos é gerada em corrente contínua, uma das maneiras de interligar esse sistema ao sistema elétrico convencional é através de conversores CC/CA. Neste artigo é discutido a forma de conexão de geração fotovoltaica diretamente com a rede elétrica convencional. O sistema de geração utilizado é um fotovoltaico composto pelo paralelo de três conjuntos de vinte módulos solares em série. A potência injetada é de aproximadamente 7,5kW. O sistema fotovoltaico é conectado ao sistema convencional através de dois conversores: um CC/CC que estabiliza o fluxo de potência e um CC/CA que adequa a potência, inicialmente gerada em corrente contínua, em corrente alternada, tornando possível a injeção na rede elétrica. Para obter um melhor aproveitamento da energia gerada foi utilizado um algoritmo de rastreamento de máxima potência (MPPT) e com isso analisou-se a potência gerada pelo arranjo fotovoltaico para alguns casos de variação de temperatura e irradiância. O sistema obteve rendimento maior que 90% em todos os cenários analisados*

**Palavras-chave:** *Geração Fotovoltaica, Conversores Eletrônicos, Conexão à Rede Elétrica.*

**Área temática:** *Conversão Fotovoltaica*

**Subárea temática:** *Controle e monitoramento de sistemas fotovoltaicos*

# GERAÇÃO FOTOVOLTAICA LIGADA À REDE ELÉTRICA ATRAVÉS DE CONVERSORES DE DOIS ESTÁGIOS

Alyson Rodrigo Arruda de Souza – rodrigo2arruda15@gmail.com

João Pedro Campelo – joaopcd110@gmail.com

Lucas Taylan Ponte Medeiros – lucastaylanp@gmail.com

Yara Machado Oliveira – yara.machadoo@hotmail.com

Adson Bezerra Moreira – adsonbmoreira@gmail.com

Campus Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral-CE

**Resumo.** Com o crescente avanço da tecnologia e o aumento do consumo de energia elétrica torna-se necessário a diversificação das matrizes energéticas, sendo a energia solar-fotovoltaica uma das soluções viáveis. A energia dos módulos fotovoltaicos é gerada em corrente contínua, uma das maneiras de interligar esse sistema ao sistema elétrico convencional é através de conversores CC/CA. Neste artigo é discutido a forma de conexão de geração fotovoltaica diretamente com a rede elétrica convencional. O sistema de geração utilizado é um fotovoltaico composto pelo paralelo de três conjuntos de vinte módulos solares em série. A potência injetada é de aproximadamente 7,5kW. O sistema fotovoltaico é conectado ao sistema convencional através de dois conversores: um CC/CC que estabiliza o fluxo de potência e um CC/CA que adequa a potência, inicialmente gerada em corrente contínua, em corrente alternada, tornando possível a injeção na rede elétrica. Para obter um melhor aproveitamento da energia gerada foi utilizado um algoritmo de rastreamento de máxima potência (MPPT) e com isso analisou-se a potência gerada pelo arranjo fotovoltaico para alguns casos de variação de temperatura e irradiância. O sistema obteve rendimento maior que 90% em todos os cenários analisados.

**Palavras-chave:** Geração Fotovoltaica, Conversores Eletrônicos, Conexão à Rede Elétrica.

## 1. INTRODUÇÃO

A matriz energética de um país é dita mais estável quando há uma menor dependência sobre uma única fonte de energia. Em países europeus é comum a dependência de termoeletricas, já no Brasil cerca de 61% da matriz energética vem de recursos hídricos (Absolar, 2019). Existe assim uma tendência mundial para estudos sobre criação e geração de energia de fontes renováveis como eólica e solar.

No Brasil a energia solar se destaca possuindo 93.597 sistemas conectados à rede, correspondendo a 1,2% de participação da matriz energética através de geração centralizada com 2.103,2 MW em potência instalada, além de 1MW em micro e mini geração (Absolar, 2019). Estes projetos de baixa potência vêm se expandindo no mercado energético brasileiro, sendo necessárias pesquisas que englobam a análise destes sistemas.

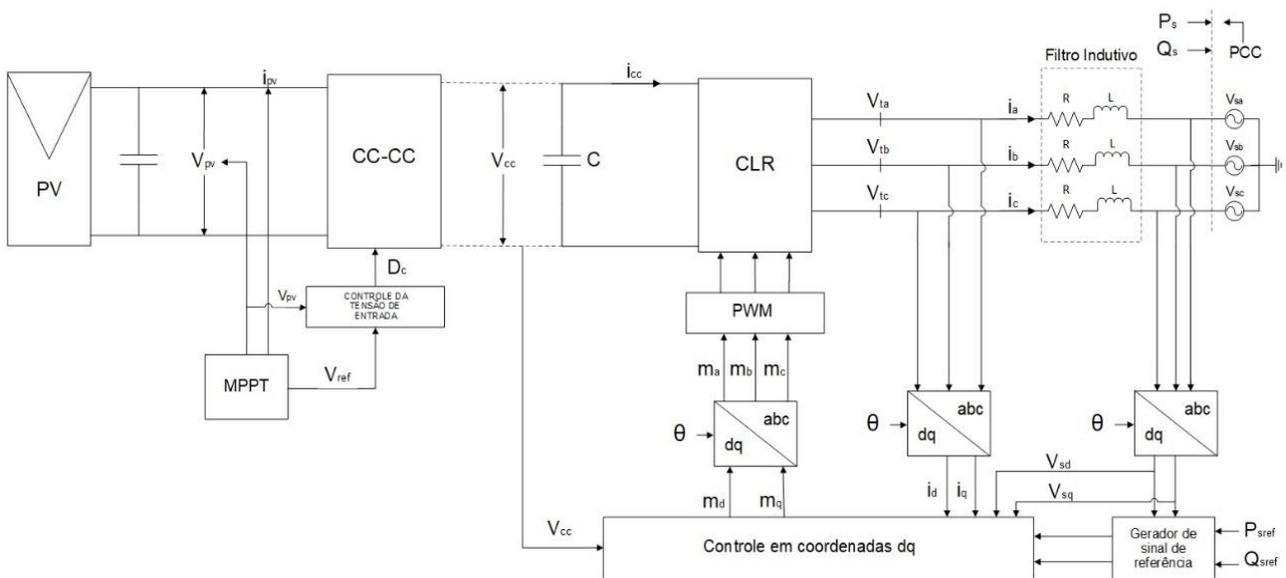


Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Neste trabalho foi abordada a conexão do arranjo fotovoltaico com a rede elétrica através da topologia de dois estágios Fig. 1. O primeiro estágio é composto por um conversor CC/CC do tipo Boost com a finalidade de elevar a

tensão e permitir a transferência de potência gerada pelo conjunto dos módulos para o barramento CC. O segundo estágio é responsável por manter um elo CC estável entre os conversores através de um conversor CC/CA, permitindo a troca de potência com a rede elétrica (Santos, Carneiro e Antunes, 2018).

Para realizar o controle do conversor do lado dos arranjos fotovoltaicos (FV) e aproveitar a máxima potência gerada pelos mesmos, utilizou-se um algoritmo de rastreamento de máxima potência, que gera um sinal de tensão usado como referência, passando por um controlador e assim acionando a chave eletrônica do conversor CC/CC. No controle do conversor CC/CA foi utilizado o método de controle vetorial com as transformadas de Park, gerando sinais de referência de corrente para controlar o fluxo de potência entre o sistema e a rede elétrica (Moreira, 2017).

## 2. SISTEMA FOTOVOLTAICO

O modelo fotovoltaico utilizado é o de diodo único apresentado na Fig. 2 (a) (Gazoli, 2011) e tem a Eq. (1) como característica.

$$I = I_{pv} - I_o \left[ \exp\left(\frac{qV}{\alpha kT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

As células solares são formadas por semicondutores, que possuem a capacidade de transformar a luz em eletricidade. Esse modelo se baseia na representação da célula solar como uma fonte de corrente em paralelo com um diodo. Em que  $I_{pv}$  é a corrente gerada pelo painel fotovoltaico e  $I_d$  é a corrente que passa pelo diodo. A partir da Eq. (1) se conclui que a corrente dos módulos  $I$  é formada pela subtração das correntes  $I_{pv}$  que possui valor constante e a corrente  $I_d$  com característica de uma função exponencial, resultando na curva característica que descreve o comportamento da corrente  $I$  em relação à tensão  $V$  como mostrado na Fig. 2 (b).

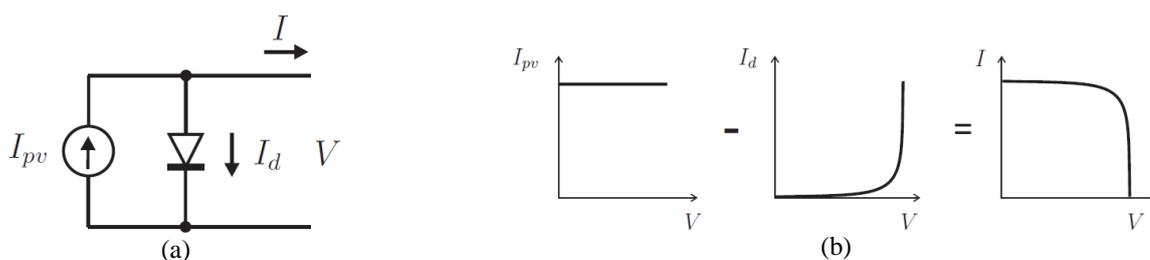


Figura 2 – Modelo fotovoltaico utilizado (a) circuito equivalente de uma célula solar, (b) curva característica da célula solar.

A corrente  $I_{pv}$  é descrita de acordo com a Eq. (2), variando com a quantidade de módulos em paralelo  $N_{par}$  e com a temperatura do ambiente  $T$  e a irradiância  $G$ .

$$I_{pv} = N_{par} \left[ I_{pv_n} + K_I (T - T_n) \right] \left( \frac{G}{G_n} \right) \quad (2)$$

Para a simulação do arranjo fotovoltaico foram usados os parâmetros do módulo KC125TM, produzido pela Kyocera. O arranjo tem três conjuntos paralelos de vinte painéis FV em que estão disponíveis na Tab. 1.

Tabela 1 – Especificações elétricas do módulo KC125TM para as condições de irradiância  $1.000 \text{ W/m}^2$ , temperatura de célula  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e espectro AM 1,5.

CARACTERÍSTICA	MÓDULO	CONJUNTO (20x3)
Máxima Potência ( $P_{max}$ )	125 W	7500 W
Tensão de Máxima Potência ( $V_{mp}$ )	17,4 V	348 V
Corrente de Máxima Potência ( $I_{mp}$ )	7,20 A	21,6 A
Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ )	21,70 V	434 V
Corrente de Curto-Circuito ( $I_{cc}$ )	8 A	24 A
Coefficiente $\alpha$	0,00318 A/ $^\circ\text{C}$	-
Coefficiente $\beta$	-0,0821 V/ $^\circ\text{C}$	-

### 3. BOOST

O Boost é o conversor mais utilizado para aumentar a eficiência do arranjo fotovoltaico, com fácil implementação e proporciona uma adequação de tensão gerada e conecta com o barramento CC. A Fig. 3 mostra o esquemático de um conversor CC/CC do tipo Boost, composto por um indutor  $L_f$ , elemento responsável pelo armazenamento de energia. Uma chave semicondutora  $S$ , neste projeto foi usado um IGBT com diodo reverso, um diodo  $D$ , responsável por impedir que a corrente flua no sentido contrário, e um capacitor  $C_b$ , que tem a finalidade de diminuir o ripple da tensão de entrada e de saída.

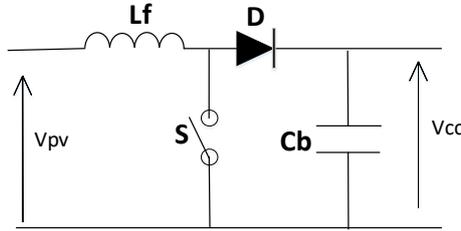


Figura 3 – Conversor CC/CC elevador do tipo Boost.

O Boost foi utilizado nesse projeto para elevar a tensão da saída do arranjo fotovoltaico de 348V para 400V do barramento CC, além disso outras vantagens dessa topologia é o custo, apresenta baixa perda pelo fato da corrente circular em um número reduzido de chaves, não possuir transformadores que por sua vez trazem perdas por magnetização, e possuir o fluxo de potência reversa (Santos, Carneiro e Antunes, 2018).

#### 3.1 Projeto do conversor CC/CC do tipo Boost

A partir da linearização da modelagem do arranjo fotovoltaico, obtém-se a condutância  $g$  dada em Eq. (3), que resulta em um modelo de pequenos sinais para o arranjo fotovoltaico (Nascimento, 2017).

$$g = \frac{N_{paralelo} I_o}{N_{serie} V_t \alpha} \exp\left(\frac{V + R_{sarranjo} I}{N_{serie} V_t \alpha}\right) - \frac{1}{R_{sarranjo}} \quad (3)$$

O modelo de pequenos sinais pode ser representado pelo equivalente de Thevenin como mostrado na Fig. 4, a partir de  $g$  se obtém a Eq. (4) para a tensão equivalente e a Eq. (5) para a resistência equivalente para o modelo simplificado.

$$V_{eq} = V - \frac{I}{g} \quad (4)$$

$$R_{eq} = -\frac{1}{g} \quad (5)$$

A função transferência do conversor Boost é dada pela Eq. (9), considerando o ciclo de trabalho  $D$  como entrada e a tensão fotovoltaica  $V_{pv}$  como saída (Reis, 2016).

$$G_{ps}(s) = \frac{V_{pv}(s)}{D(s)} = \frac{V_{cc}}{s^2 L_f C_{pv} + s \frac{L_f}{R_{eq}} + 1} \quad (6)$$

O projeto do controlador do Boost se baseia no método de resposta em frequência e considera-se a dinâmica PWM do conversor eletrônico, representada pela Eq. (7).

$$G_{gat}(s) = \frac{-s \frac{T_{gate}}{4} + 1}{s \frac{T_{gate}}{4} + 1} \quad (7)$$

em que,  $T_{gate}$  é o tempo de amostragem (Moreira, 2017).

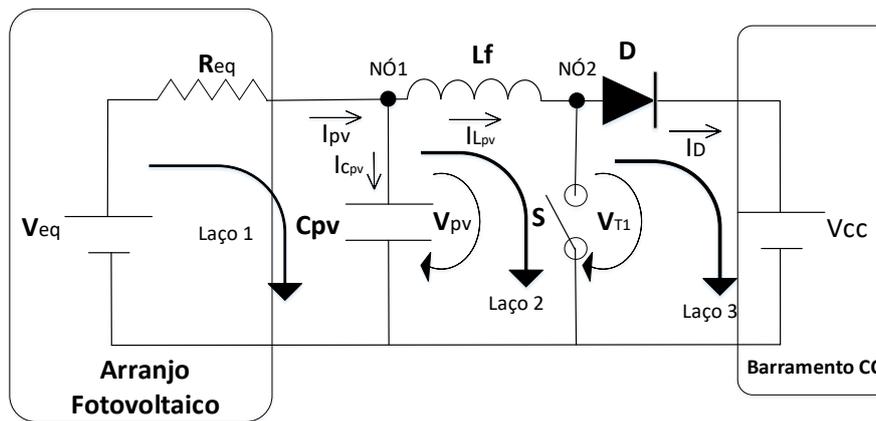


Figura 4 – Modelo Thevenin que representa o circuito linear equivalente do arranjo conectado ao conversor Boost.

Na Tab. 2 observa-se os parâmetros utilizados no projeto do conversor Boost.

Tabela 2 – Parâmetros para o conversor do tipo Boost.

Parâmetros	Valor
$f_{gate}$	10kHz
$L_f$	5,5 mH
$C_b$	102 uF

### 3.2 Ponto de rastreo de máxima potência

Para otimizar a potência do painel transferida pelo Boost utilizou-se um algoritmo de rastreo do ponto de máxima potência (MPPT, do inglês: *Maximum Power Point Traking*). Trata-se de uma técnica que busca extrair a máxima potência do sistema independente da irradiação ou temperatura. O tipo de MPPT utilizado foi o Perturbe e Observe, no que consiste na comparação entre os valores de potência atual com o anterior, estabilizando o sistema no melhor ponto da curva  $V \times I$ . Este método não é indicado para casos em que haja sombreamento, não interferindo no rendimento do trabalho, visto que foram levadas em consideração condições ideais de iluminação. Na Fig. 6 observa-se o algoritmo P&O.

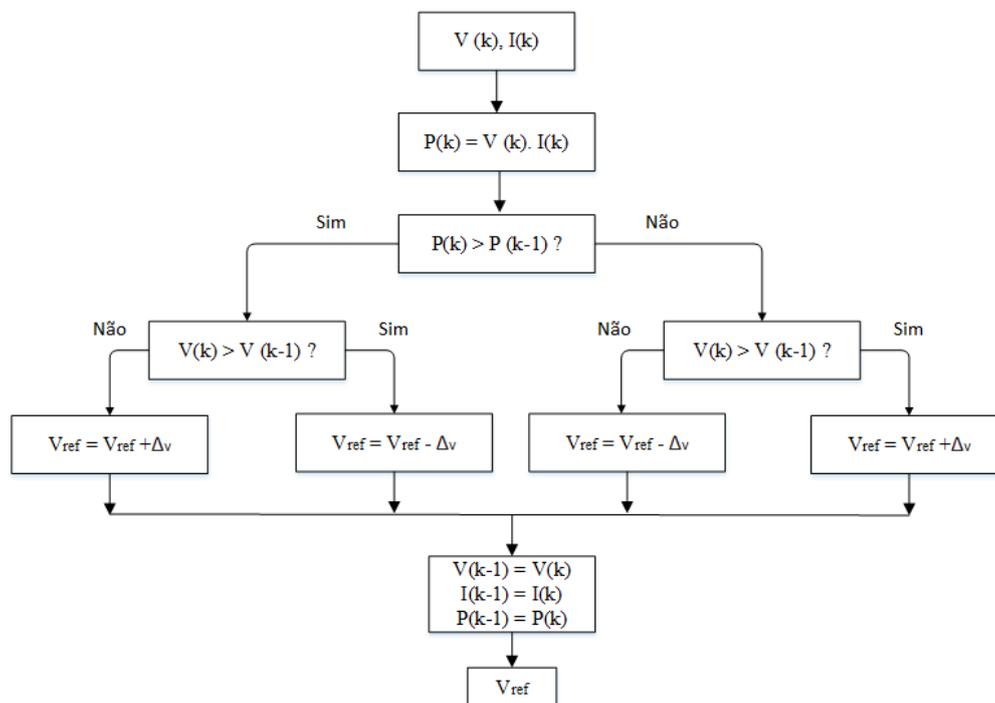


Figura 5 – Técnica do algoritmo P&O.

#### 4. CONVERSOR DO LADO DA REDE ELÉTRICA

O controle do conversor eletrônico trifásico conectado à rede elétrica tem como objetivo principal controlar as potências ativa,  $P_s$  e reativa,  $Q_s$ , entregues ou absorvidas pelo sistema CA. A fim de facilitar a análise e o projeto dos controladores, o sistema é representado em coordenadas  $dq$ , que se baseia na representação de sistemas estacionários com duas variáveis em quadratura, assumindo formas de ondas contínuas em estado estacionário (Yazdani e Iravani, 2010).

Sabendo que o controle é realizado a partir do eixo em quadratura,  $V_q$ , é definido como zero, no instante em que o sistema responsável por realizar o sincronismo da frequência da rede elétrica se estabiliza, as equações das potências ativa e reativa elétricas podem ser definidas a partir das Eq. (8) e Eq. (9), sendo controlado pelas correntes de referência.

$$P_s = \frac{3}{2} (V_{sd} \cdot i_d + V_{sq} \cdot i_q) \quad (8)$$

$$Q_s = \frac{3}{2} (-V_{sd} \cdot i_q) \quad (9)$$

Dessa maneira, isolando as correntes  $i_d$  e  $i_q$  em (10) e (11).

$$i_d = \frac{2 P_s}{3 V_{sd}} \quad (10)$$

$$i_q = -\frac{2 Q_s}{3 V_{sd}} \quad (11)$$

O diagrama de blocos da Fig. 6 mostra que as malhas de controle de corrente utilizam as referências  $I_{dref}$  e  $I_{qref}$  obtidas na saída do controle de tensão do barramento CC, que tem seu diagrama de blocos ilustrado na Fig. 7, sendo  $L$  a indutância do filtro,  $\omega$  é a velocidade angular.

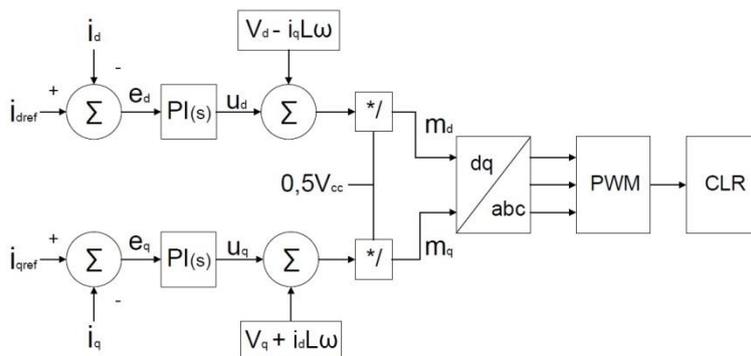


Figura 6 – Malha de controle das correntes.

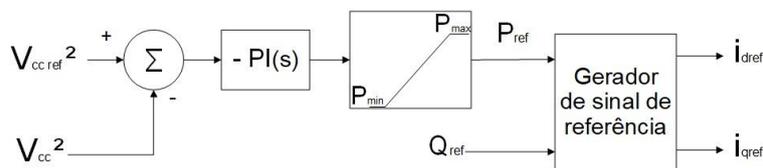


Figura 7 – Malha do controle do barramento.

#### 5. RESULTADOS

O sistema fotovoltaico em estudo foi implementado no software MatLab/Simulink®. Para análise dos resultados, são gerados oito casos, a partir de simulações do sistema FV. A temperatura é mantida constante e a irradiação assume diferentes valores. Nos demais casos, a irradiação é constante, enquanto a temperatura varia.

A Fig. 8 mostra as curvas tensão versus corrente para a temperatura de 25°C e irradiações de 1000W/m², 800W/m², 600W/m², 400W/m² e 200W/m².

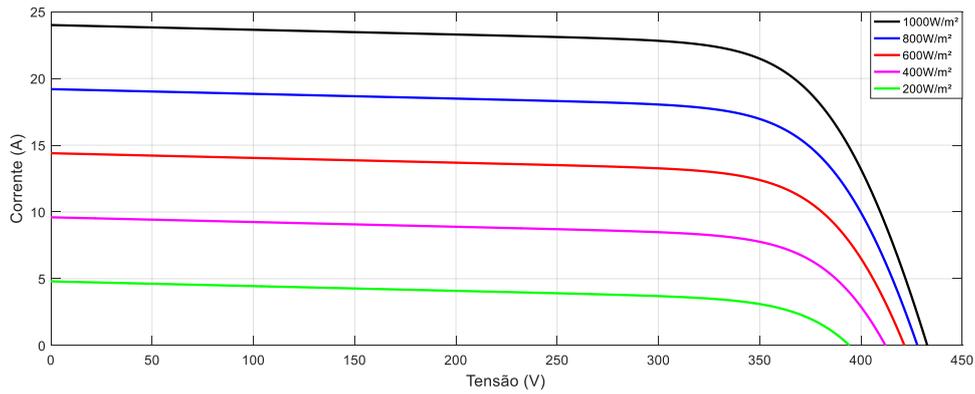


Figura 8 – Curvas de corrente vs tensão para irradiâncias de 1000W/m², 800W/m², 600W/m², 400W/m² e 200W/m².

Na Fig. 9 observam-se as curvas de potência e tensão para as irradiâncias de 1000W/m², 800W/m², 600W/m², 400W/m² e 200W/m² e temperatura de 25°C. A partir disso verifica-se que quanto menor a irradiância menor é a tensão e a corrente gerada pelo painel FV, variando a potência produzida, isso ocorre devido a corrente  $I_{pv}$  ser diretamente proporcional a irradiância. Além disso, é notório que a variação de irradiância reduz bastante a corrente de curto circuito, e causa pequenas variações na tensão de circuito aberto.

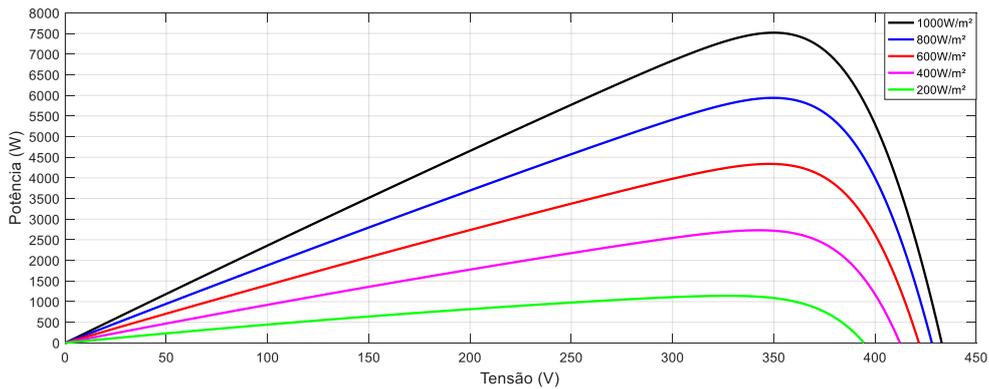


Figura 9 – Curvas de potência vs tensão para irradiâncias de 1000W/m², 800W/m², 600W/m², 400W/m² e 200W/m².

Para as temperaturas de 15°C, 25°C, 50°C e 75°C e com irradiância de 1000W/m² são geradas as curvas VxI, Fig. 10.

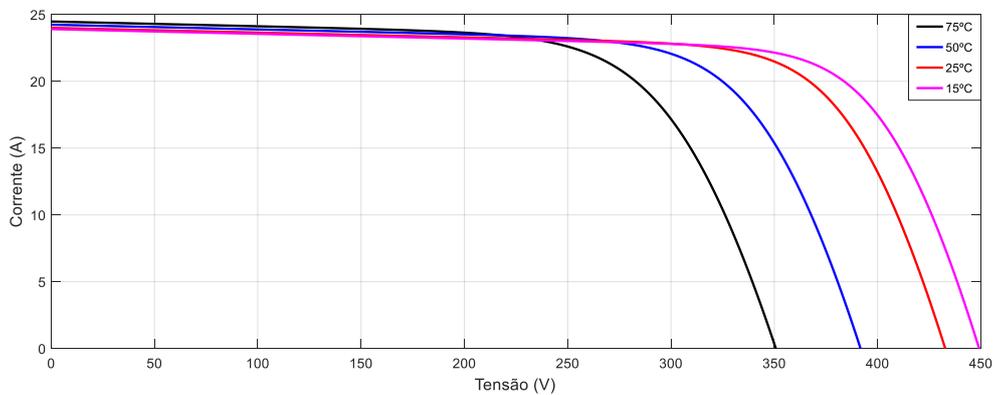


Figura 10 – Curvas de corrente vs tensão para temperatura de 15°C, 25°C, 50°C e 75°C.

As curvas de potência vs tensão da Fig. 11 utilizam as mesmas temperaturas e irradiância da Fig. 10. A partir dos dados obtidos constata-se que quanto menor a temperatura maior a potência gerada pelo painel FV. Isso ocorre devido o coeficiente de temperatura que altera as características de tensão e corrente do painel FV. Além disso, observa-se que a variação de temperatura reduz bastante a tensão de circuito aberto, enquanto causa pequenas variações na corrente de curto circuito.

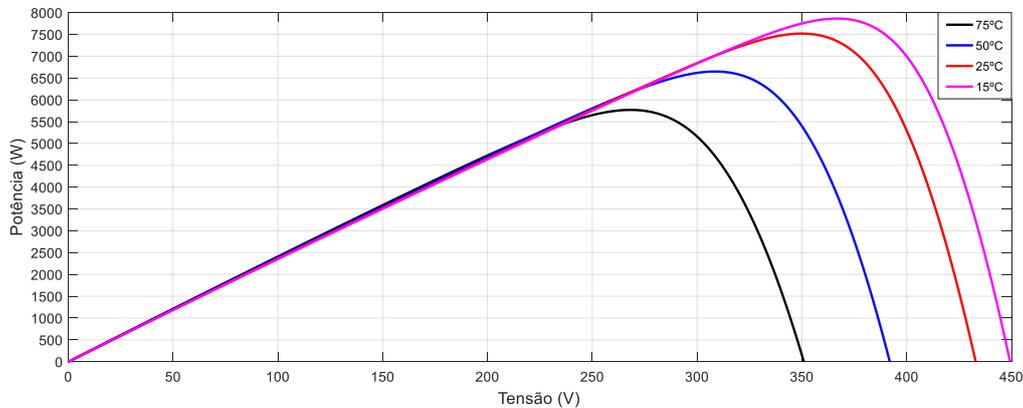


Figura 11 – Curvas de potência vs tensão para temperatura de 15°C, 25°C, 50°C e 75°C.

A Fig. 12 apresenta a tensão gerada seguindo o sinal de referência (a), e a corrente gerada pelo sistema fotovoltaico (b) para a irradiação de 1000W/m<sup>2</sup>, 800W/m<sup>2</sup> e 600W/m<sup>2</sup> para a temperatura constante de 25°C.

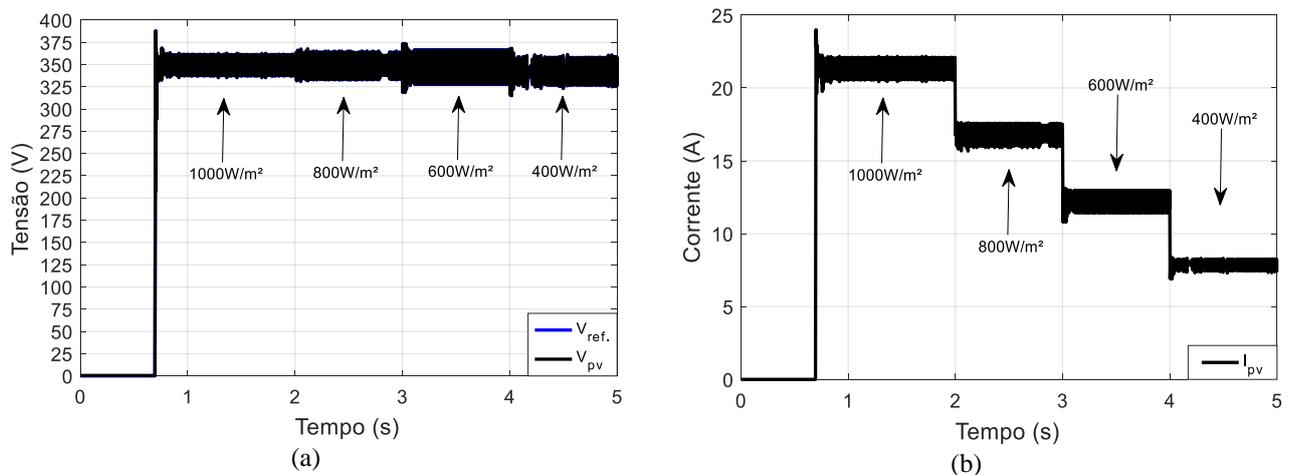


Figura 12 – Curvas da corrente e tensão do arranjo FV para irradiações de 1000W/m<sup>2</sup>, 800W/m<sup>2</sup>, 600W/m<sup>2</sup> e uma temperatura de 25°C (a) tensão do arranjo FV e sua tensão de referência, (b) corrente na saída do arranjo FV.

Nas Fig. 13 e Fig. 12 observa-se que o sistema foi bem projetado e o MPPT agindo de maneira rápida e eficiente, acompanhando sempre as variações de irradiações e de temperatura. Vale ressaltar que nas simulações não se considerou casos em que ocorre sombreamento nos painéis, pois o método utilizado de rastreamento do ponto de máxima potência não é preciso para esses casos.

Na Fig. 14 verifica-se a potência produzida pelo sistema fotovoltaico e a potência injetada na rede elétrica para variações de irradiações de 1000W/m<sup>2</sup>, 800W/m<sup>2</sup>, 600W/m<sup>2</sup> (a) e temperatura 25°C, 50°C e 75°C (b). A potência do conjunto fotovoltaico  $P_{pv}$  é representada em preto com o valor máximo de 7.500kW, enquanto em azul tem-se a máxima potência injetada na rede elétrica com o valor de 7.130kW, indicando um rendimento do sistema FV de 95% aproximadamente.

Da Fig. 14, durante o tempo  $t = 0s$  até  $t = 0,7s$ , nota-se que a potência do sistema FV é zero, enquanto a potência da rede elétrica é negativa, isso é justificado pois durante esse tempo o capacitor do barramento está sendo carregado, logo o fluxo de potência é da rede para o sistema FV, assim o conversor funciona como um retificador controlado. Após a tensão do barramento  $V_{cc}$  estabilizar em 400V, como na Fig. 15, o sistema é acionado e os módulos FV passam a injetar potência na rede elétrica, ou seja, o conversor funciona como um inversor controlado.

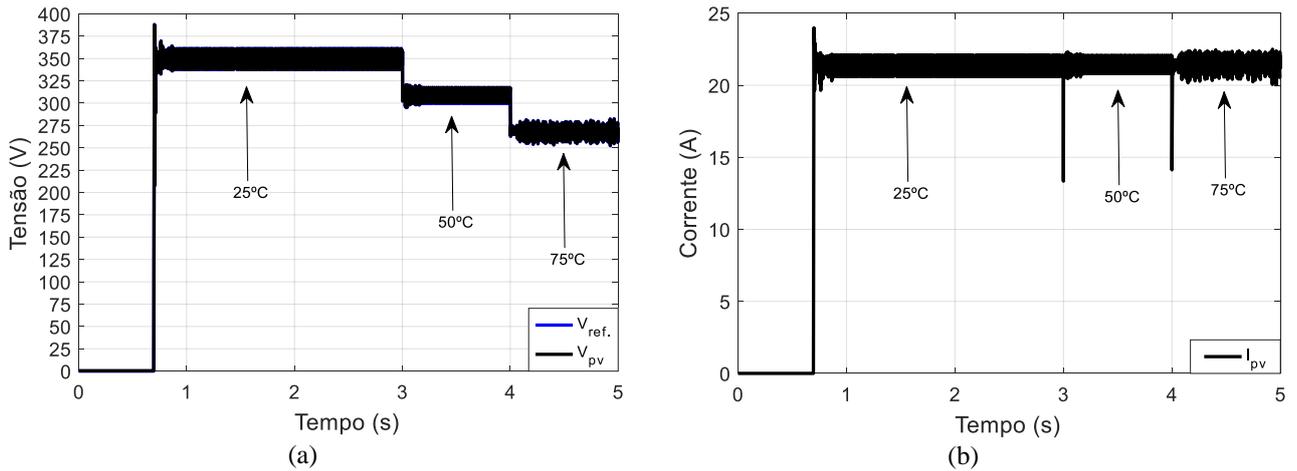


Figura 13 – Curvas da corrente e tensão do arranjo FV para irradiação de 1000W/m² e temperatura de 25°C, 50°C e 75°C (a) tensão do arranjo FV e sua tensão de referência, (b) corrente na saída do arranjo FV.

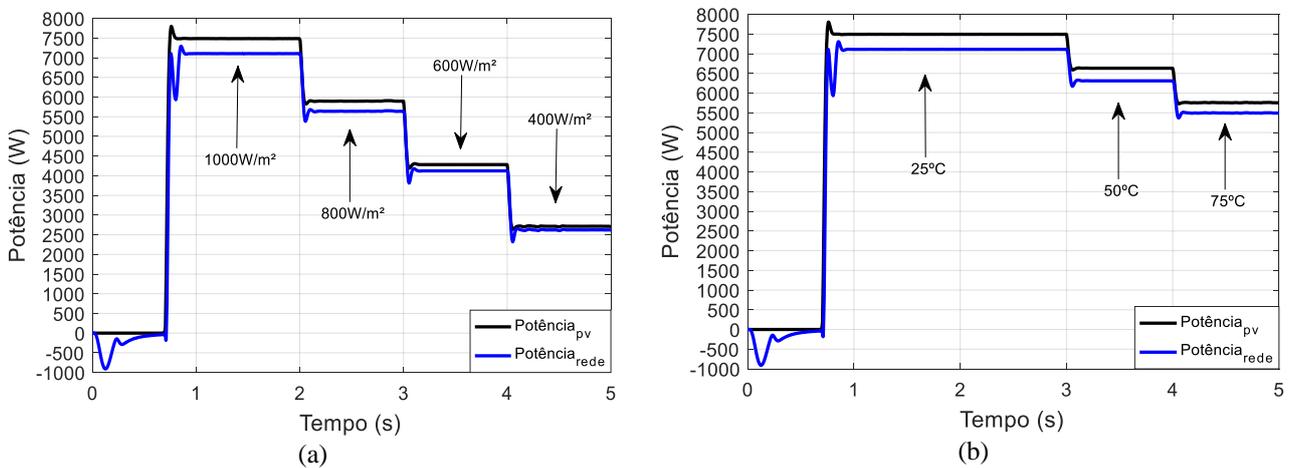


Figura 14 – Potencia Gerada pelo sistema FV (a) para irradiações de 1000W/m², 800 W/m², 600 W/m², 400W/m² e temperatura de 25°C, (b) para irradiação de 1000 W/m² e temperatura de 25°C, 50°C e 75°C.

Como a referência do controle de tensão do barramento considera os parâmetros da rede elétrica, para ambos os casos mostrados, a tensão no barramento  $V_{CC}$  permanece constante e regulada em 400V como mostra a Fig. 15, demonstrando que o controle do conversor eletrônico trifásico está agindo de maneira eficaz as variações que ocorrem no sistema, assim como a comunicação entre o arranjo FV e a rede elétrica pelo barramento ocorre de maneira eficiente.

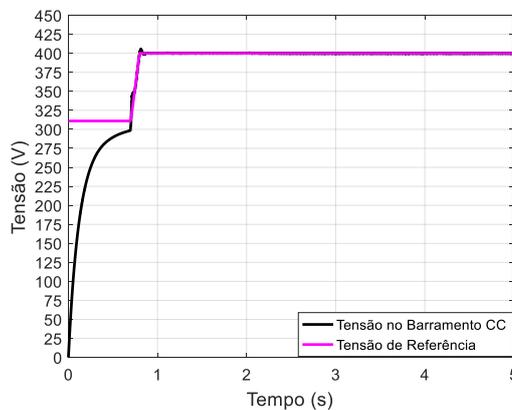


Figura 15 – Tensão no barramento CC e sua tensão de referência.

A Fig. 16 mostra a tensão da fase A da rede elétrica, e as correntes das três fases para uma irradiância de  $1000\text{W/m}^2$  e uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . O sistema FV entrega potência ativa com fator de potência unitário.

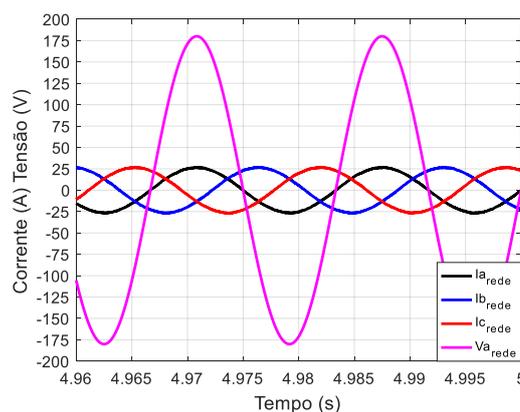


Figura 16 – Tensão e corrente na rede elétrica.

A Tab. 3 consta os valores numéricos para cada situação abordada nas Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 e Fig. 11, apresentando os valores de tensão, corrente e potência na saída dos arranjos fotovoltaicos além da potência injetada na rede elétrica, incluindo o rendimento do sistema.

Tabela 3 – Dados de corrente, tensão, potência e rendimento para condições variáveis de temperatura e irradiância.

<b>T = 25 °C</b>	<b>G (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (A)</b>	<b>P<sub>pv</sub> (W)</b>	<b>P<sub>rede</sub> (W)</b>	<b>Rend (%)</b>
	1000	349,7	21,5	7.518	7.134	94,89
	800	349,4	16,9	5.937	5.678	95,64
	600	347,4	12,5	4.337	4.177	96,31
	400	342,2	7,96	2.727	2.635	96,63
<b>G = 1000 W/m<sup>2</sup></b>	<b>T (°C)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (A)</b>	<b>P<sub>pv</sub> (W)</b>	<b>P<sub>rede</sub> (W)</b>	<b>Rend (%)</b>
	15	364,2	21,4	7.779	7.377	94,83
	25	349,7	21,5	7.518	7.134	94,89
	50	308,4	21,5	6.647	6.327	95,19
	75	268,1	21,5	5.764	5.502	95,45

Com base na Tab. 3, para a temperatura constante e com variação na irradiação, verifica-se uma grande mudança no valor da corrente, enquanto a tensão do arranjo apresenta pequena variação. Esse comportamento é devido o algoritmo de rastreamento de máxima potência trabalhar na área do joelho das curvas de tensão vs corrente. Com o aumento da temperatura a tensão se reduz, mas a corrente permanece quase inalterada. Uma forma de compreender esse comportamento é observando as curvas das Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 e Fig. 11, pois nota-se que a temperatura tem grande influência na tensão produzida, alterando muito o valor da tensão de circuito aberto, enquanto a irradiação altera bastante a corrente produzida, modificando o valor da corrente de curto circuito.

## 6. CONCLUSÃO

A energia gerada através da irradiação solar é uma fonte de energia renovável que mais cresce, aumentando a diversidade da matriz energética e reduzindo os impactos que fontes não renováveis causam ao meio ambiente.

Através da modelagem do arranjo fotovoltaico obtiveram-se as curvas características de um modelo fotovoltaico, corrente versus tensão e potência versus tensão, para diversos cenários, validando o comportamento satisfatório a partir da comparação com as curvas fornecidas pelo fabricante. Foi possível comprovar que as curvas características de um modelo fotovoltaico se alteram para diferentes temperaturas e irradiâncias, sendo a potência e corrente gerada proporcional à irradiação e inversamente proporcional com a temperatura.

Pode-se inferir que o algoritmo de MPPT satisfaz a necessidade de buscar o ponto de máxima potência gerada, fornecendo um sinal de referência para a tensão do arranjo fotovoltaico. Obtiveram-se os valores de potência fornecidos pelo arranjo para diversos cenários, comprovando que o MPPT funcionou, permitindo que o sistema forneça a máxima potência para a rede elétrica.

O controle do Boost, com o sinal de referência gerado pelo MPPT, permitiu um máximo aproveitamento da potência produzida pelo sistema FV, sem interferir na tensão no barramento.

O controle do conversor do lado da rede é composto por duas malhas em cascata: uma para o controle das correntes geradas pelo conversor e outra para o controle da tensão do barramento CC. Os controles foram projetados baseados na resposta em frequência, obtendo um bom desempenho no comportamento dinâmico do sistema.

## REFERÊNCIAS

- Absolar. Infográfico Absolar. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- Gazoli, J. R. Microinversores Monofásico para Sistema Solar Fotovoltaico. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- Moreira, A. B. Proposta de Controle de um Sistema de Geração de Energia Elétrica a Partir de Energia Eólica com Gerador de Indução Duplamente Alimentado com Mitigação de Correntes Harmônicas na Rede Elétrica Geradas por Cargas não Linear. 2017. 156f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- Nascimento Filho, P. S. Modelagem Matemática dinâmica para Projetos e Análise de Controle de Tensão do Elo CC de um Conversor Fotovoltaico Trifásico de dois Estágios Conectado à Rede Elétrica Através de Filtro LCL. 2017. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- Reis, M. V. G. Estudo e Implementação de Estratégia de Detecção de Ilhamento em Inversores para Sistemas Fotovoltaicos de Geração Distribuída. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- Santos, H. A.; Carneiro, T. C.; Antunes, F. L. Conversor para Interligação de Sistema de Geração Fotovoltaico à Rede Elétrica., *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, Gramado, 17 a 20 abr. 2018.
- Yazdani, A.; Iravani, R. Voltage-sourced converters in power systems: modeling, control, and applications, John Wiley & Sons, 2010.

## PHOTOVOLTAIC GENERATION CONNECTED TO THE ELECTRIC NETWORK THROUGH TWO STAGE CONVERTERS

**Abstract.** *Whit the increasing advancement of technology and the increase of electricity consumption, it is necessary to diversify the energy matrices, being solar-photovoltaic energy one of the viable solutions. The power of photovoltaic modules is generated in direct current one of the ways to connect this system to the conventional electrical system is through DC/AC converters. This paper discusses how to connect photovoltaic generation directly to the conventional grid. The generation systems used is a photovoltaic composed of the parallel of three sets of twenty solar modules in series. The injected power is approximately 7,5kW. The photovoltaic system is connected to the conventional systems by two converters: a DC/DC that stabilizes the power flow and a DC/AC that matches the power initially generated in direct current, alternating current, making it possible to inject into the electric grid. To obtain a better use of the energy generated, a maximum power tracking algorithm (MPPT) was used and the power generated by the photovoltaic array was analyzed for some cases of temperature variation and irradiance. The system obtained yield greater than 90% in all scenarios analyzed.*

**Key words:** *Photovoltaic Generation, Eletronic Converters, Power Grid Connection.*