

# USO DA BUSCA DE FIBONACCI NO RASTREAMENTO DA MÁXIMA POTÊNCIA EM UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONTENDO UM INVERSOR MULTINÍVEL A DIODO GRAMPEADO

RONNAN DE B. CARDOSO\*, EDISON R. C. DA SILVA\*, DARLAN A. FERNANDES\*

\*Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa, Paraíba, Brasil

Emails: ronnan.cardoso@cear.ufpb.br, ercdasilva@gmail.com,  
darlan@cear.ufpb.br

**Abstract**— This paper deals with a system composed of a DC-DC multilevel boost converter and a Neutral-Point-Clamped inverter, fed by photovoltaic array. The system is able to operate adequately even under partial shading condition using a technique of Maximum Power Point Tracking (MPPT) based on the Fibonacci search, capable of tracking the operation of the system at the global maximum point. A current control is added to the Fibonacci search used for MPPT. The modes of operation of the system are explained together with its model, control and PWM strategy used. Simulation and experimental results validate the theoretical studies.

**Keywords**— Photovoltaic systems, partial shading, maximum power point tracking, Fibonacci sequence, boost multilevel, NPC inverter.

**Resumo**— Este artigo trata de um sistema composto por um conversor CC-CC *boost* multinível e um inversor com diodos de grameamento, sendo alimentado por um arranjo fotovoltaico. O sistema é capaz de operar adequadamente, mesmo sob condição de sombreamento parcial. A partir de uma técnica de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) baseada na busca de Fibonacci, capaz de rastrear a operação do sistema no ponto de máximo global. Um controle de corrente é adicionado à busca de Fibonacci usada para o MPPT. Os modos de operação do sistema são apresentados em conjunto com o modelo, controle e estratégia PWM utilizada. Simulação e resultados experimentais validam os estudos teóricos

**Palavras-chave**— Sistemas fotovoltaicos, sombreamento parcial, rastreamento do ponto de máxima potência, sequência de Fibonacci, *boost* multinível, inversor NPC.

## 1 Introdução

Atualmente, a produção de energia a partir da geração fotovoltaica (PV) é altamente desejável, pois demanda baixa manutenção, o sol está disponível na maior parte do ano e o sistema pode ser adaptado para geração distribuída ou centralizada. Diferentes topologias foram concebidas para lidar com a geração de energia fotovoltaica. Sua escolha depende de diferentes critérios, como o número de painéis PV disponíveis, qualidade do sinal de saída (tensão e corrente), eficiência do sistema e a complexidade do gerenciamento (Kouro et al., 2010; Zhang et al., 2013; Ghoddami and Yazdani, 2012). Uma das soluções possíveis é utilizar um ou mais conversores *boost* CC-CC, entre o painel PV e o barramento CC alimentado pelo mesmo. Neste caso, o conversor *boost* é empregado não só para rastrear o ponto de potência máxima (MPPT) gerada pelo painel mas, também, para elevar a tensão dos painéis PV ao nível da tensão do barramento CC. Quando a aplicação é CA, torna-se necessário o uso de um inversor adicional. O inversor multinível, é capaz de lidar com altas tensões, tem sido considerado com uma boa opção para esta aplicação popular (Kouro et al., 2010). Entre eles, o tipo com diodos de grameamento (NPC) se tornou muito popular (Kouro et al., 2010; Ghoddami and Yazdani, 2012). Seu maior problema é o desequilíbrio natural das tensões dos capacitores do barramento CC (Nabae et al., 1981; Celanovic and Boroyevich, 2000; Ma et al., 2015).

Quando a tensão de saída PV é estável, o uso do inversor NPC é atrativo (Ma et al., 2015). No entanto,

quando há um sombreamento parcial, o equilíbrio de tensão dos capacitores não é mais garantido e provoca perda de qualidade nos sinais de saída (Oliveira and Correa, 2012). Por esta razão, os capacitores de entrada do inversor NPC têm sido alimentados por diferentes possibilidades de conversores CC-CC (Nami et al., 2010; Andrade and da Silva, 2015). Em especial, o conversor *boost* multinível (CBM), modular e sem transformador, descrito pela primeira vez em (Rosas-Caro et al., 2008). Esse conversor possui elevado ganho estático e permite alta frequência de comutação. Além disso, as tensões nos capacitores de saída são autorreguladas, o que o torna muito atrativo para alimentação do inversor NPC.

Por outro lado, diferentes técnicas de controle MPPT foram propostas (Kuo et al., 2001; Bidram et al., 2012; Ahmed and Miyatake, 2008; Ramaprabha et al., 2010). Geralmente, a maioria das técnicas convencionais tem resposta rápida, mas são ineficazes em caso de sombreamento parcial, em que ocorre mais de um pico de máxima potência. Um estudo comparativo favoreceu a técnica MPPT baseada na busca de Fibonacci no caso de sombreamento em que se utiliza apenas um estágio de potência (Weng et al., 2015).

Embora o CBM possa alimentar o inversor NPC e também fazer parte de um sistema fotovoltaico, essa aplicação ainda não foi explorada. Este artigo investiga o conversor integrado CBM/NPC sendo alimentado por uma fonte PV e alimentando uma carga isolada. Seus modos de operação são explanados em conjunto com o modelo, controle e estratégia PWM utilizada. Para levar em conta a operação sob sombreamento parcial, um controle de corrente é adicionado à

busca de Fibonacci usada para o MPPT. Simulação e resultados experimentais validam os estudos teóricos.

## 2 O Conversor Proposto

O sistema proposto é constituído de dois painéis PV em série, um CBM de dois níveis e um inversor NPC de três níveis monofásico, como mostrado na Figura 1. O CBM é utilizado com o objetivo de extrair a máxima potência do arranjo PV e alimentar o inversor NPC com um nível de tensão desejado no barramento CC. A saída do inversor NPC é conectada uma carga RL.

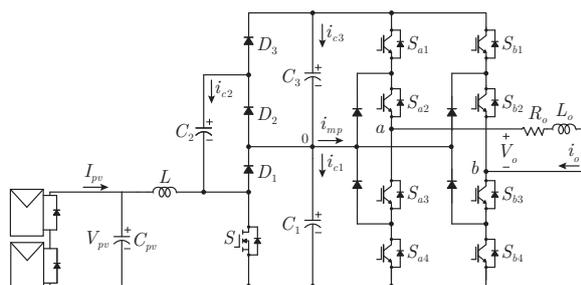


Figura 1: Sistema Integrado.

### 2.1 Conversor Boost Multinível

O CBM é formado por um conversor CC-CC *boost* convencional, três capacitores e três diodos. Esse conversor foi descrito primeiramente em (Rosas-Caro et al., 2008). Os modos de operação são mostrados na Figura 2 e descritos a seguir.

*Modo 1*, Figura 2(a) - Esse modo inicia quando o interruptor  $S$  entra em condução. Esse estado pode ser representado pela variável de comutação  $q = 1$ . Durante o estado de condução, o indutor é conectado a tensão  $V_{pv}$  e armazena energia. Se a tensão sobre  $C_2$  é menor do que  $C_1$  então o diodo  $D_2$  entra em condução, equalizando assim a tensão sobre os capacitores. Os diodos  $D_1$  e  $D_3$  permanecem bloqueados.

*Modo 2*, Figura 2(b) - Quando  $S$  é bloqueada ( $q = 0$ ), o diodo  $D_1$  entra em condução e transfere a energia do indutor para o capacitor  $C_1$ . Se a tensão sobre  $C_3$  é menor do que  $C_2$  então o diodo  $D_3$  entra em condução equalizando a tensão sobre os capacitores. O diodo  $D_2$  permanece bloqueado.

Os benefícios do CBM são uma alta densidade de potência, baixa distorção harmônica e alta eficiência já que nenhum transformador é necessário. Para o caso específico de três capacitores o ganho teórico é função da relação cíclica  $D$ , dado por:

$$v_{cc} = \frac{2}{1-D} V_{pv} \quad (1)$$

Outra característica importante do CBM é que as tensões nos capacitores são autorreguladas, o que é bastante atraente para a alimentação do inversor NPC.

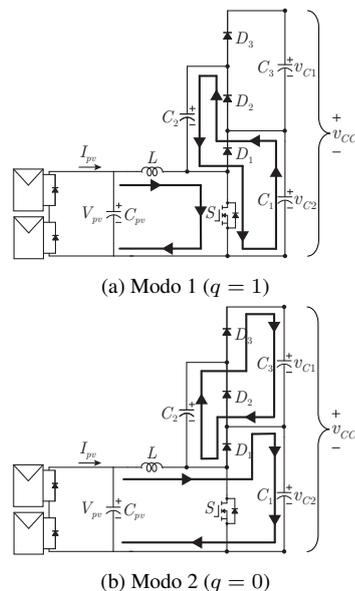


Figura 2: Modos de operação do CBM.

### 2.2 Sistema Proposto

O sistema proposto mostrado na Figura 1 possui 32 modos de operação quando considerado os dois modos do CBM e os casos de corrente de carga positiva e negativa. Considerando que as chaves  $S_{j1}$ ,  $S_{j2}$ ,  $S_{j3}$  e  $S_{j4}$  ( $j = a, b$ ) do inversor NPC são representadas pelos estados de comutação  $q_{j1}$ ,  $q_{j2}$ ,  $q_{j3}$  e  $q_{j4}$  respectivamente. Os estados de comutação  $q_{j1}$  e  $q_{j3}$  são complementares, isto é,  $q_{j3} = 1 - q_{j1}$  assim como os de  $q_{j2}$  e  $q_{j4}$ ,  $q_{j4} = 1 - q_{j2}$ . Além disso, o interruptor  $S$  do CBM é representada pelo estado de comutação  $q$ . Considere, também, que “1” e “0” representam o estado da chave “conduzindo” e “bloqueada”, respectivamente. Usando estas considerações, os modos de operação são indicados na Tabela 1, juntamente com as tensões de saída, apenas para o caso em que a corrente de carga,  $i_o$ , é positiva. As correntes nos capacitores  $C_1$  e  $C_3$  podem ser positivas (+) ou negativas (-) e podem ter origem no CBM, sendo, no caso, indicadas por  $+_s$  ou  $-_s$ , ou no inversor, sendo indicadas por  $+_i$  ou  $-_i$ . Por sua vez, um dos caminhos de circulação da corrente originada no inversor é através do ponto 0 de conexão dos capacitores  $C_1$  e  $C_3$ . Essa corrente,  $i_{mp}$ , também pode ser positiva, (+), ou negativa, (-), sendo indicada para cada modo de operação da Tabela 1. A Figura 3 mostra os circuitos equivalentes de oito dos modos de operação. Observa-se do circuito equivalente do modo 1b2, as correntes nos capacitores  $C_1$  e  $C_3$  são resultantes de uma corrente positiva originada na fonte e uma corrente negativa originada no inversor, ou seja,  $+_s -_i$ , enquanto a corrente em  $C_2$  é negativa, tendo origem na fonte, ou seja,  $-_s$  e a corrente  $i_{mp}$  é nula. Já no modo 2b1, o capacitor  $C_1$  descarrega devido à fonte e  $C_3$  descarrega devido à corrente  $i_{mp}$ . Entretanto, embora as correntes nos capacitores  $C_1$  e  $C_3$  sejam afetadas pela fonte CBM e pelo inversor, a análise pode ser simplificada, já que a tensão no capacitor  $C_1$  é regulada, acarretando o ajuste automático das tensões nos terminais de  $C_2$  e  $C_3$ .

Tabela 1: Modos de operação do sistema integrado para corrente de carga positiva.

Modo	S	$S_{a1}$	$S_{a2}$	$S_{b1}$	$S_{b2}$	$i_o$	$V_{ao}$	$V_{bo}$	$V_{ab}$	$i_{mp}$	$i_{c1}$	$i_{c3}$	$i_{c2}$
1b1	1	1	1	0	0	$>0$	$+V_{cc}/2$	$-V_{cc}/2$	$+V_{cc}$	0	$-s-i$	$-i$	$+s$
2b1	1	1	1	0	1	$>0$	$+V_{cc}/2$	0	$+V_{cc}/2$	+	$-s$	$-i$	$+s$
3b1	1	0	1	0	1	$>0$	0	0	0	0	$-s$	0	$+s$
4b1	1	0	1	0	0	$>0$	0	$-V_{cc}/2$	$+V_{cc}/2$	-	$-s-i$	0	$+s$
5b1i	1	0	0	1	1	$>0$	$-V_{cc}/2$	$+V_{cc}/2$	$-V_{cc}$	0	$-s+i$	$+i$	$+s$
6b1i	1	0	1	1	1	$>0$	0	$+V_{cc}/2$	$-V_{cc}/2$	-	$-s$	$+i$	$+s$
7b1i	1	0	1	0	1	$>0$	0	0	0	0	$-s$	0	$+s$
8b1i	1	0	0	0	1	$>0$	$-V_{cc}/2$	0	$-V_{cc}/2$	+	$-s+i$	0	$+s$
1b2	0	1	1	0	0	$>0$	$+V_{cc}/2$	$-V_{cc}/2$	$+V_{cc}$	0	$+s-i$	$+s-i$	$-s$
2b2	0	1	1	0	1	$>0$	$+V_{cc}/2$	0	$+V_{cc}/2$	+	$+s$	$+s-i$	$-s$
3b2	0	0	1	0	1	$>0$	0	0	0	0	$+s$	$+s$	$-s$
4b2	0	0	1	0	0	$>0$	0	$-V_{cc}/2$	$+V_{cc}/2$	-	$+s-i$	$+s$	$-s$
5b2i	0	0	0	1	1	$>0$	$-V_{cc}/2$	$+V_{cc}/2$	$-V_{cc}$	0	$+s+i$	$+s+i$	$-s$
6b2i	0	0	1	1	1	$>0$	0	$+V_{cc}/2$	$-V_{cc}/2$	-	$+s$	$+s+i$	$-s$
7b2i	0	0	1	0	1	$>0$	0	0	0	0	$+s$	$+s$	$-s$
8b2i	0	0	0	0	1	$>0$	$-V_{cc}/2$	0	$-V_{cc}/2$	+	$+s+i$	$+s$	$-s$

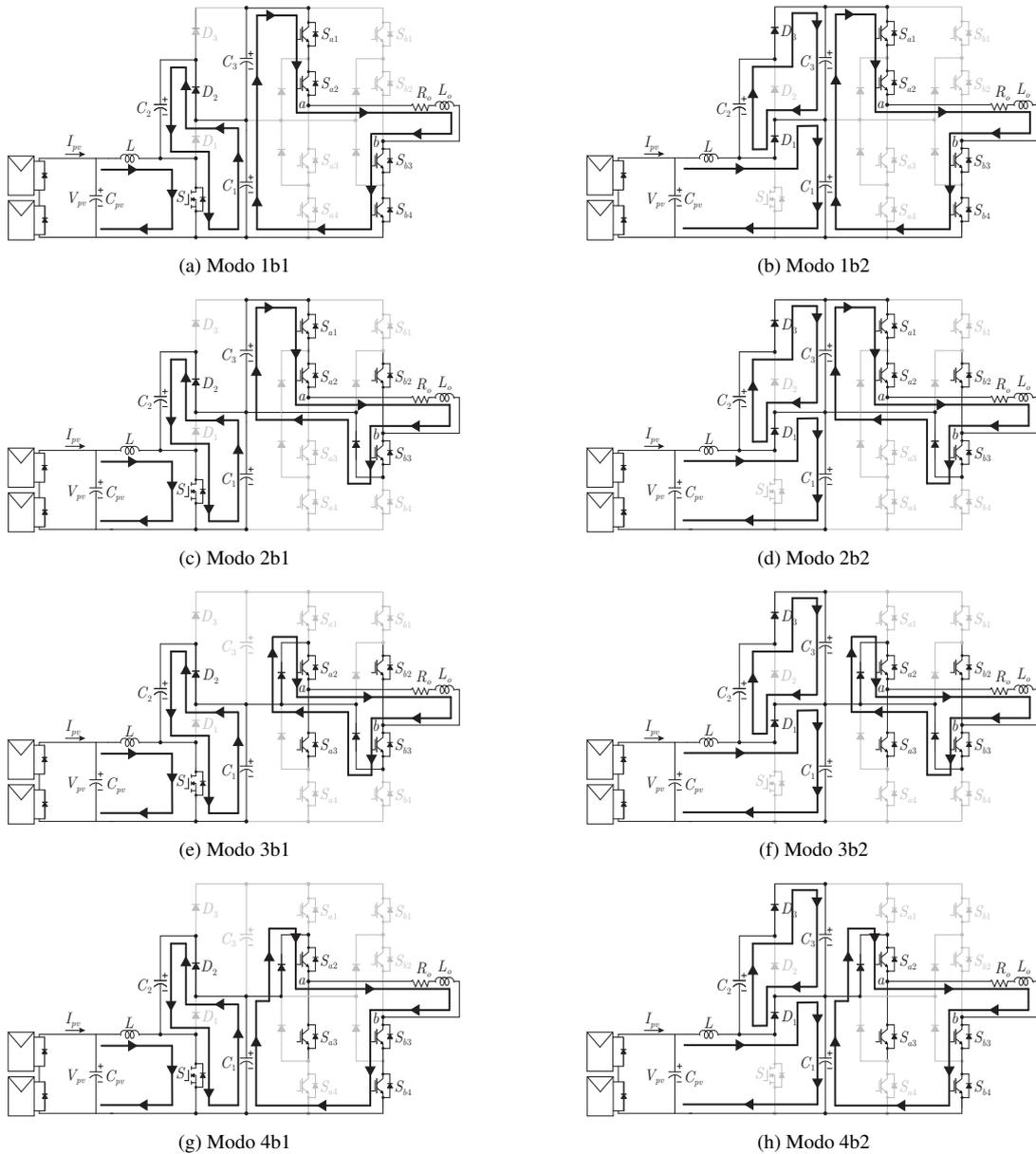


Figura 3: Circuitos equivalentes do sistema integrado.

### 2.3 Modelo do Sistema

O modelo do inversor é baseado no circuito equivalente mostrado na Figura 4, isto é,

$$v_{ab} - R_o i_o - L_o \frac{di_o}{dt} = 0 \quad (2)$$

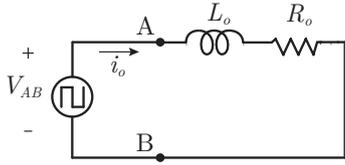


Figura 4: Circuito equivalente.

A tensão de polo,  $v_{ab}$ , pode ser definida em função dos estados de comutação, ou seja,

$$v_{ab} = (q_{a1} + q_{a2} - q_{b1} - q_{b2})(v_{c1} + v_{c2})/2 \quad (3)$$

Das Figuras 2(a) e 2(b), a tensão do barramento CC pode ser escrita em termos da tensão do painel PV:

$$v_{cc} = (v_{c1} + v_{c2}) = \frac{(1-q)}{2} \left( v_{pv} - L \frac{di_L}{dt} \right) \quad (4)$$

no qual  $i_L$  é a corrente que flui no indutor *boost* e  $L$  é o indutor do conversor *boost*.

## 2.4 Estratégia de modulação PWM

A estratégia de modulação utilizada é PWM com portadoras deslocadas em nível e dispostas em fase (PDPWM), uma vez que as tensões nos capacitores do barramento CC são autorreguladas. Essa estratégia consiste em comparar para cada braço do inversor um sinal modulante senoidal de baixa frequência com duas portadoras triangulares de alta frequência. Seu esquema é mostrado na Figura 5.

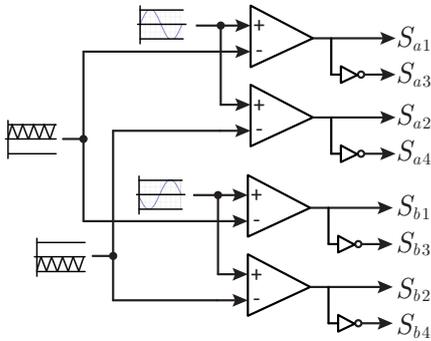


Figura 5: Modulador PWM para o inversor.

## 3 Controle MPPT

O CBM é responsável por extrair a máxima potência dos painéis PV. Seu esquema de controle inclui um controle de corrente, Figura 6. A técnica de MPPT de Fibonacci (Ahmed and Miyatake, 2008; Ramaprabha et al., 2010) gera a tensão de referência do arranjo,  $V_{pv}^*$ . O erro de tensão entre  $V_{pv}^*$  e  $V_{pv}$  medido é controlado com a ajuda de um controlador PI. Sua saída é a corrente de referência  $I_c^*$  usada para controlar a tensão do capacitor de saída PV. A corrente de referência do indutor é então definida por  $I_L^* = I_{pv} - I_c^*$ . O erro de corrente do indutor é aplicado a um controlador PI

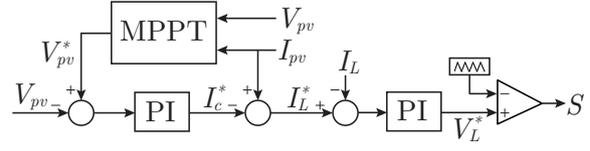


Figura 6: Controle MPPT.

cuja saída é a tensão de referência  $V_L^*$ , que é modulada com uma estratégia PWM baseada em portadora.

O MPPT é um método matemático de busca baseado nos números da sequência de Fibonacci.

$$c_0 = 0, c_1 = 1, c_n = c_{n-2} + c_{n-1} \quad (5)$$

para  $n \geq 2$

Os números de Fibonacci são então:  $c_2 = 1, c_3 = 2, c_4 = 3, c_5 = 5, c_6 = 8, c_7 = 13, c_8 = 21...$  O método consiste em um algoritmo que busca possíveis locais de máxima potência com ajuda dos números de Fibonacci.

Considerando os pontos  $x_1^i, x_2^i, x_3^i$  e  $x_4^i$ , como mostrado na Figura 7. Os pontos  $x_3^i$  e  $x_4^i$  são os limites do intervalo de busca,  $x_1^i$  e  $x_2^i$  são os dois pontos de verificação, e o intervalo é dado por  $a^i + b^i + a^i = A^i$ . O deslocamento pode ser para a direita ou para a esquerda. A direção do deslocamento é baseada nos valores da função  $f(x)$  nos dois pontos de verificação. Como o valor da função em  $x_2^i$  é maior que em  $x_1^i$ , ( $f(x_2^i) > f(x_1^i)$ ), o intervalo é deslocado para a direita e  $x_1^i$  agora se torna  $x_3^{i+1}$  e  $x_2^i$  torna-se  $x_1^{i+1}$ . Um novo valor de  $x_2^{i+1}$  é gerado usando a sequência de Fibonacci, ou seja,

$$x_2^{i+1} = x_3^{i+1} + \left( \frac{c_{n-1}}{c_n} \right) (x_4^{i+1} + x_3^{i+1}) \quad (6)$$

Pode-se observar que o intervalo novo é reduzido para  $a^{i+1} + b^{i+1} + a^{i+1} = a^i + b^i = A^i - a^i$ .

Na próxima iteração o valor da função em  $x_1^{i+1}$  é maior que em  $x_2^{i+1}$ , ( $f(x_1^{i+1}) > f(x_2^{i+1})$ ), o máximo valor da função encontra-se dentro do intervalo  $[x_3^{i+1}, x_2^{i+1}]$ . O intervalo de busca é então deslocado para a esquerda, onde na próxima iteração  $x_2^{i+1}$  torna-se  $x_4^{i+2}$ ,  $x_1^{i+1}$  torna-se  $x_2^{i+2}$ . O novo valor de  $x_1^{i+2}$  é dado por

$$x_1^{i+2} = x_4^{i+2} + \left( \frac{c_{n-1}}{c_n} \right) (x_4^{i+2} + x_3^{i+2}) \quad (7)$$

O ponto ideal está sempre dentro do novo intervalo que é continuamente reduzido. Uma vez que  $f(x)$  corresponde à potência e  $x$  a tensão de um arranjo PV, o MPP pode ser alcançado mesmo em condições de sombreamento parcial. Quando a mudança súbita ou parcial da irradiância é detectada, a condição de busca é reiniciada. Condição essa dada por

$$\frac{|P - P_o|}{P} < r \quad (8)$$

onde  $P$  é a potência estimada para cada iteração e  $P_o$  é a potência média no início do ciclo de controle para

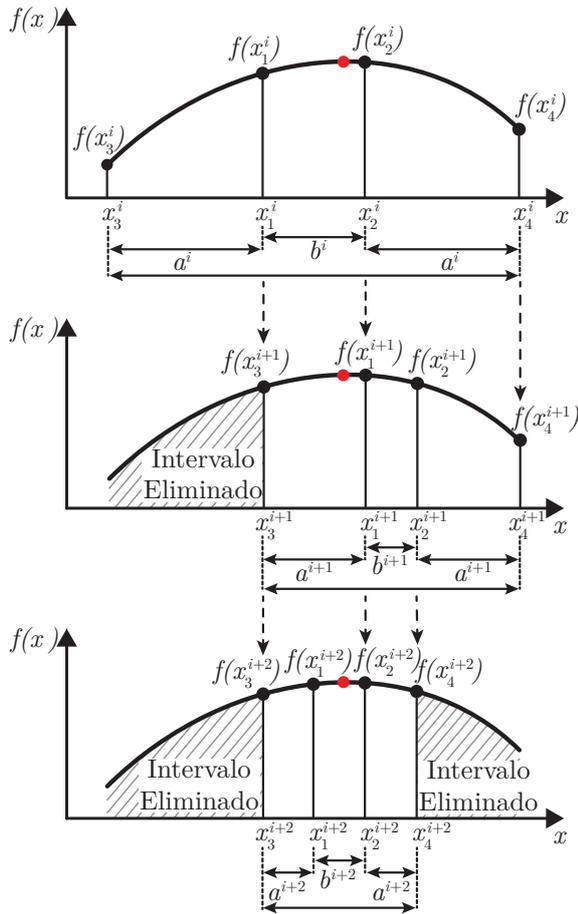


Figura 7: Processo de pesquisa do algoritmo de MPPT.

cada iteração (Ahmed and Miyatake, 2008). Um valor ideal prático da constante  $r$  é 0,2.

O algoritmo consiste em dez etapas (Ahmed and Miyatake, 2008; Ramaprabha et al., 2010):

- 1- as variáveis são inicializadas;
- 2- a potência é medida;
- 3- se a potência mudou do estabelecido anteriormente e se a diferença de potência for menor do que  $r$ , então houve mudança súbita de irradiação, portanto, retorna-se para o passo 1, senão segue para o passo 4;
- 4- dois valores de tensão para os limites do intervalo são definidos,  $V_3$  e  $V_4$ ;
- 5- dois valores de tensão  $V_1$  e  $V_2$  são gerados como pontos de verificação;
- 6- Os valores das potências  $P_1$  e  $P_2$  são medidos;
- 7- Se  $P_1 > P_2$ , desloca-se para a esquerda, senão desloca-se para direita;
- 8- novos valores de tensão  $V_1$  e  $V_2$  são gerados;
- 9- os novos valores de potência são medidos;
- 10- retorna ao passo 7.

#### 4 Resultados de Simulação

Os resultados de simulação foram obtidos através do programa PSIM. Os dados utilizados são fornecidos na Tabela 2. Os painéis PV possuem as especificações elétricas indicadas na Tabela 2 para condições padrão, isto é, irradiação de  $1000 \text{ W/m}^2$  e temperatura

de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Como os painéis são conectados em série, o ponto ótimo de operação em condições normais é de aproximadamente  $80 \text{ V}$ ,  $8 \text{ A}$ ,  $650 \text{ W}$ . Para avaliar o comportamento do sistema sob condição de sombreamento parcial, um dos módulos tem sua irradiação alterada de  $1000 \text{ W/m}^2$  para  $500 \text{ W/m}^2$ . A Figura 8 apresenta as curvas I-V e P-V do arranjo PV após a modificação da irradiação, é possível observar a presença de dois pontos de máxima potência (MPP), impondo assim um problema de busca do ponto de máxima potência global.

Tabela 2: Parâmetros de simulação.

Parâmetro	Símbolo	Valor
<i>Painel PV</i>		
Potência máxima	$P_{max}$	325 W
Tensão de máxima potência	$V_{mp}$	40,3 V
Corrente de máxima potência	$I_{mp}$	8,07 A
Tensão de circuito aberto	$V_{ca}$	49,7 V
Corrente de curto circuito	$I_{cc}$	8,69 A
<i>CBM</i>		
Indutância	$L$	2,1 mH
Resistência indutor	$R_L$	0,2 $\Omega$
Capacitores	$C_{1,2,3}$	2000 $\mu\text{H}$
Resistência Mosfet	$S$	24 m $\Omega$
Resistência Diodos	$D_{1,2,3}$	8 m $\Omega$
Tensão de entrada	$V_{in}$	80 V
Tensão de saída	$V_o$	320 V
Potência de saída	$P_o$	650 W
Frequência de comutação	$f_{sb}$	50 kHz
<i>Inversor NPC</i>		
Frequência de comutação	$f_s$	5 kHz
Frequência de saída	$f_o$	60 Hz
Índice de modulação	$ma$	0,9
Resistência de carga	$R_o$	75 $\Omega$
Indutância de carga	$L_o$	12 mH

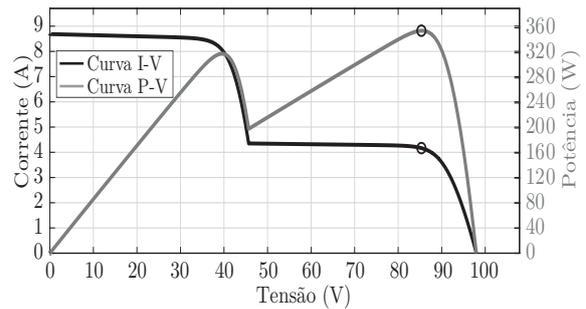


Figura 8: Curvas I-V e P-V para arranjo PV sombreado.

Quando o degrau de irradiação ocorre no instante  $t = 1,5\text{s}$ , há uma pequena mudança na tensão  $V_{pv}$  e uma redução expressiva na corrente  $I_{pv}$  e na potência  $P_{pv}$  do arranjo, Figura 9. A tensão no barramento CC reduz de  $343,05 \text{ V}$  para pouco mais de  $250 \text{ V}$ , Figura 10, devido ao ajuste da relação cíclica do CBM controlada pelo algoritmo de MPPT. A tensão de polo e a tensão e corrente de saída do inversor são mostradas na Figura 11.

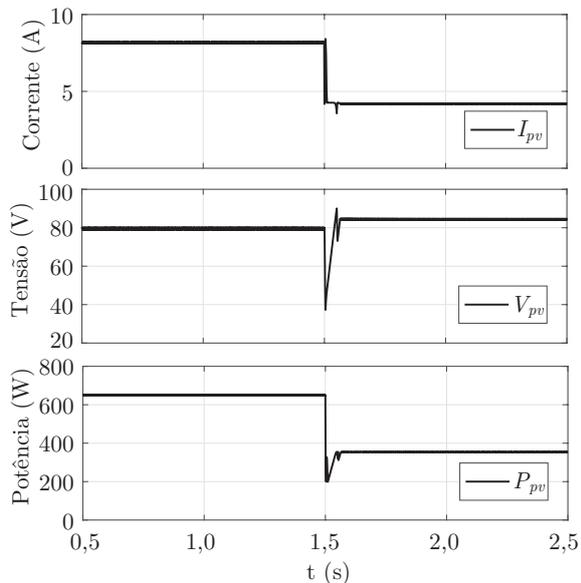


Figura 9: Simulação do arranjo PV: corrente, tensão e potência.

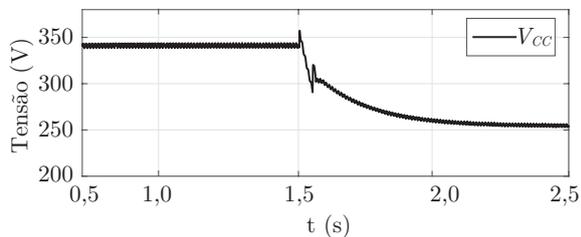


Figura 10: Forma de onda de simulação da tensão no barramento CC.

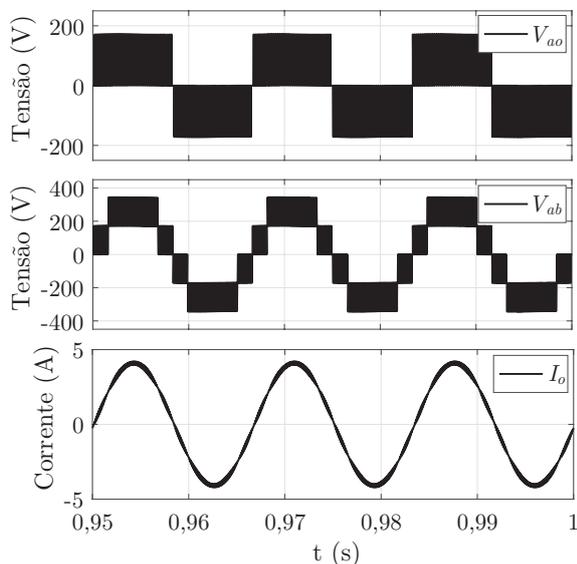
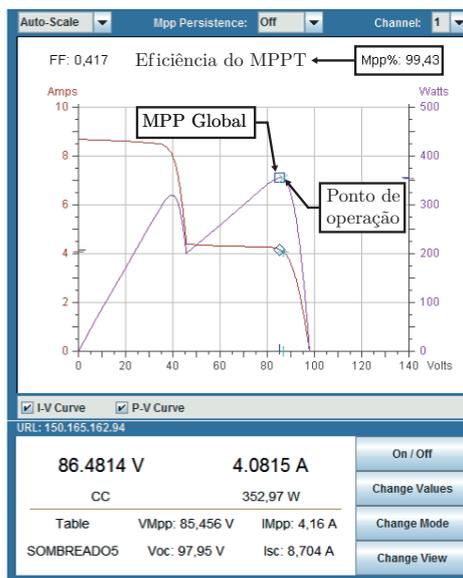


Figura 11: Formas de onda de simulação do inversor NPC.

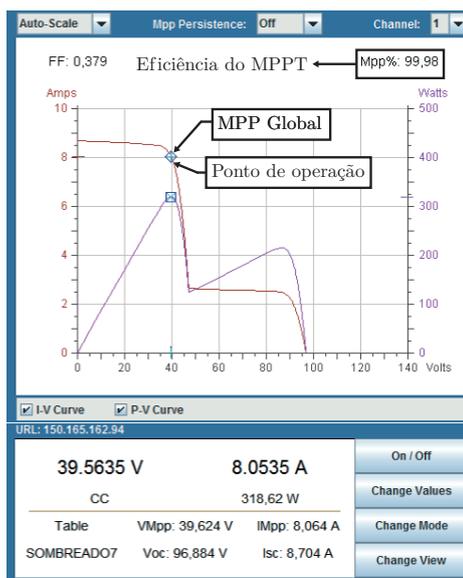
## 5 Resultados Experimentais

Os resultados experimentais foram obtidos com um inversor constituído de IGBTs controlados por drives dedicados e MOSFET para o conversor *boost* multinível. A geração de sinais de controle foi feita com ajuda de um DSP. Para emular os painéis PV foi utilizado uma fonte E4360A. Quatro condições foram

examinadas, sendo duas delas apresentadas na Figura 12 através das curvas I-V e P-V: Figura 12(a), GMPP do lado direito; Figura 12(b), GMPP do lado esquerda da curva. Os pontos de operação indicam que o algoritmo de MPPT baseado em Fibonacci é capaz de rastrear o ponto de máxima potência em qualquer um dos locais. A Figura 13 ilustra as formas de onda para o CBM e NPC. A Figura 13(a) apresenta a tensão PV (85,1 V), a corrente PV (4,19 A), a corrente no indutor (4,2 A) e a razão cíclica (0,623). Na Figura 13(b) é mostrado a tensão no barramento CC (242 V) e as tensões nos capacitores. Como pode ser observado, as tensões nos capacitores são equilibradas. Finalmente, a Figura 13(c) apresenta a tensão de carga (164,9 Vrms) e a corrente de carga (2,02 A).

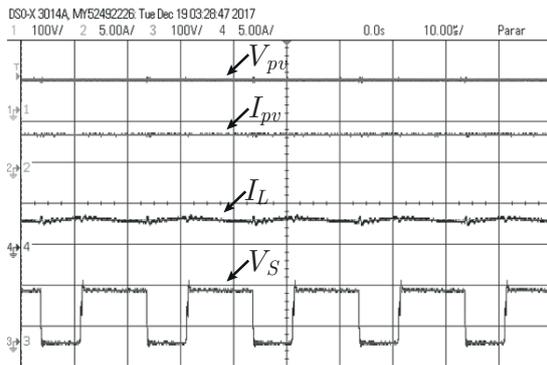


(a) GMPP no lado direito

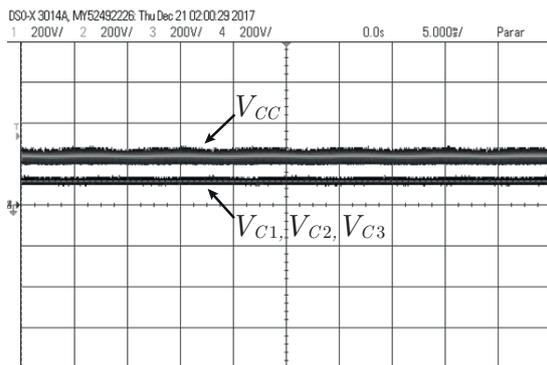


(b) GMPP no lado esquerdo

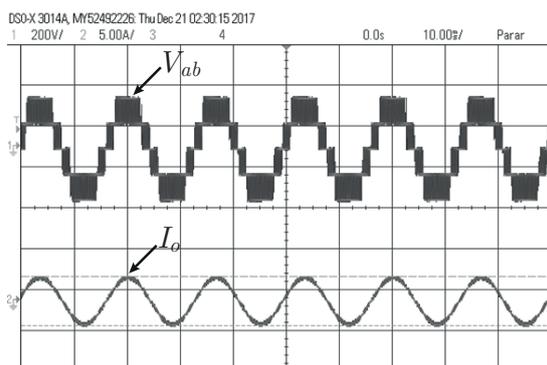
Figura 12: MPPT sob condição de sombreamento.



(a) CBM, de cima para baixo: tensão PV (100 V/div.), corrente PV (5 A/div.), corrente no indutor (5 A/div) e razão cíclica (100 V/div.)



(b) Tensão no barramento CC (topo, 200V/div.) e tensão nos capacitores (inferior, 200V/div.)



(c) Tensão na carga (topo, 200 V/div.) e corrente na carga (inferior, 5 A/div.)

Figura 13: Formas de onda experimental para sistema integrado.

## 6 Conclusões

Este trabalho investigou um sistema PV formado por um conversor *boost* multinível (CBM) integrado com um inversor com diodos de grampeamento (NPC) operando sob condição de sombreamento parcial. O sistema PV aproveita as tensões autorreguladas nos capacitores de saída do conversor *boost* multinível, de modo que o inversor pode ser ajustado para uma tensão de saída desejada com uma estratégia PWM simples. É mostrado que o algoritmo de MPPT baseado na busca de Fibonacci rastreia o ponto de máxima potência global mesmo quando existe múltiplos picos nas curvas características P-V devido ao sombreamento parcial. Quatro casos de irradiância foram examina-

dos sendo alcançada uma eficiência do MPPT superior a 99% em todos os casos. Um controle de corrente é utilizado para controlar a tensão do capacitor de saída do arranjo PV.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro deste projeto.

## Referências

- Ahmed, N. A. and Miyatake, M. (2008). A novel maximum power point tracking for photovoltaic applications under partially shaded insolation conditions, *Electric Power Systems Research* **78**(5): 777–784.
- Andrade, A. S. and da Silva, E. R. (2015). Dc-link control of a three-level npc inverter fed by shaded photovoltaic system, *Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), 2015 IEEE 13th Brazilian*, pp. 1–5.
- Bidram, A., Davoudi, A. and Balog, R. S. (2012). Control and circuit techniques to mitigate partial shading effects in photovoltaic arrays, *IEEE Journal of Photovoltaics* **2**(4): 532–546.
- Celanovic, N. and Boroyevich, D. (2000). A comprehensive study of neutral-point voltage balancing problem in three-level neutral-point-clamped voltage source pwm inverters, *IEEE Transactions on power electronics* **15**(2): 242–249.
- Ghoddami, H. and Yazdani, A. (2012). A bipolar two-stage photovoltaic system based on three-level neutral-point clamped converter, *Power and Energy Society General Meeting, IEEE*, pp. 1–8.
- Kouro, S., Asfaw, K., Goldman, R., Snow, R., Wu, B. and Rodriguez, J. (2010). Npc multilevel multistring topology for large scale grid connected photovoltaic systems, *Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, pp. 400–405.
- Kuo, Y.-C., Liang, T.-J. and Chen, J.-F. (2001). Novel maximum-power-point-tracking controller for photovoltaic energy conversion system, *IEEE transactions on industrial electronics* **48**(3): 594–601.
- Ma, L., Kerekes, T., Rodriguez, P., Jin, X., Teodorescu, R. and Liserre, M. (2015). A new pwm strategy for grid-connected half-bridge active npc converters with losses distribution balancing mechanism, *IEEE Transactions on Power Electronics* **30**(9): 5331–5340.

- Nabae, A., Takahashi, I. and Akagi, H. (1981). A new neutral-point-clamped pwm inverter, *IEEE Transactions on industry applications* (5): 518–523.
- Nami, A., Zare, F., Ghosh, A. and Blaabjerg, F. (2010). Multi-output dc–dc converters based on diode-clamped converters configuration: topology and control strategy, *IET power electronics* 3(2): 197–208.
- Oliveira, M. A. and Correa, M. B. (2012). Analysis of grid-tied single phase multilevel inverters powered by photovoltaic panels under partial shading conditions, *Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2012 3rd IEEE International Symposium on*, pp. 483–486.
- Ramaprabha, R., Mathur, B., Ravi, A. and Aventhika, S. (2010). Modified fibonacci search based mppt scheme for spva under partial shaded conditions, *Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET), 2010 3rd International Conference on*, pp. 379–384.
- Rosas-Caro, J. C., Ramírez, J. M. and García-Vite, P. M. (2008). Novel dc-dc multilevel boost converter, *IEEE Power electronics specialists conference*, pp. 2146–2151.
- Weng, X., Zhao, Z., He, F., Yuan, L. and Lu, T. (2015). Comparison of several mppt methods for pv arrays under partially shaded conditions, *International Conference on Renewable Power Generation (RPG 2015)*, pp. 1–6.
- Zhang, L., Sun, K., Feng, L., Wu, H. and Xing, Y. (2013). A family of neutral point clamped full-bridge topologies for transformerless photovoltaic grid-tied inverters, *IEEE Transactions on Power Electronics* 28(2): 730–739.