

# ANÁLISE COMPUTACIONAL DE TÉCNICAS DE RASTREAMENTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) PARA APLICAÇÃO EM ARRANJOS FOTOVOLTAICOS

**Leonardo Rosenthal Caetano Silva**– leonardo.rosenthal@hotmail.com

Universidade Federal deUberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica

**Geraldo Caixeta Guimarães**– gcaixetag@gmail.com

Universidade Federal deUberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica

**Raul Vitor Arantes Monteiro**– rauldvm@terra.com.br

Universidade Federal deUberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica

**Marcio Augusto Tamashiro**– tamashiro@ifto.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia / Universidade Federal de Uberlândia

**Guilherme Henrique Bernardes Cunha**– guilhermehbcunha@gmail.com

Universidade Federal deUberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica

**Thales Lima Oliveira**– thaleslima.ufu@gmail.com

Universidade Federal deUberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica

**Roberta Ramos Santos**– robertaramossantos@hotmail.com

Universidade Federal deUberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica

**Resumo.** Este artigo apresenta uma verificação computacional das atuações de diversos métodos de busca do ponto de máxima potência (Maximum Power Point Tracking– MPPT) em sistemas fotovoltaicos utilizando o programa Alternative Transients Program (ATP) e, desta forma, compara a aplicação de cada método. É utilizado um modelo de célula fotovoltaica, onde são inseridos os dados comerciais de um determinado módulo, com diversos métodos de MPPT controlando o conversor em que este deve ser conectado. Com o objetivo de apresentar de forma detalhada a conexão do sistema módulo-conversor CC-CC (corrente contínua), são apresentados doze métodos de MPPT trabalhados de forma teórica e, por fim, testados computacionalmente.

**Palavras-chave:** ATP, MPPT, Sistemas Fotovoltaicos.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, apesar da alto índice de radiação solar ao longo do ano, a energia produzida por meios fotovoltaicos é mínima. De acordo com o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em outubro de 2015 foram disponibilizados 25.233 kW de potência no País, compreendendo 0,02% da potência instalada total. As regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte possuem um grande potencial de aproveitamento da energia solar, logo subaproveitadas para este tipo de geração. Mesmo as regiões menos privilegiadas possuem maior radiação solar disponível do que países europeus, onde a energia solar fotovoltaica é utilizada de melhor forma.

Publicada pela ANEEL, a Resolução Normativa nº 482/2012 já estimula novos empreendimentos na geração de forma distribuída, definindo um sistema de compensação em que a energia ativa injetada, por uma unidade consumidora, seja do tipo de microgeração ou minigeração (de 100 kW a 1 MW), é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada pelo próprio consumo de energia da mesma unidade consumidora ou outra de mesma titularidade. A resolução traz, ainda, as formas de geração que o cliente pode utilizar: energia hidráulica, solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada. Em centros urbanos, a geração distribuída fotovoltaica é mais quista pelos clientes que se interessam em participar do sistema de compensação sobre as outras formas de geração que demandam grandes espaços.

Com o aumento de produção de energia fotovoltaica, são necessários estudos voltados para a geração em pequena escala de centrais fotovoltaicas. A eficiência dessas conexões é baixa, tornando-se necessária a utilização de técnicas para o seguimento da máxima potência (MPPT – Maximum Power Point Tracking).

Nesse sentido, este artigo busca não apenas apresentar vários dos métodos presentes na literatura, mas testá-los computacionalmente, utilizando uma ferramenta confiável e consolidada. Serão, então, apresentados e simulados no programa ATP, 12 métodos de MPPT aplicados a um sistema do tipo *boost*, conectado a um sistema de geradores fotovoltaicos, onde, ao fim, será feita uma comparação entre os sistemas simulados.

## 2. MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL

### 2.10 módulo fotovoltaico

O sistema utilizado utiliza a conexão entre um conjunto de módulos fotovoltaicos e um conversor CC-CC aumentador de tensão, *ouboost*, simulados no programa *Alternative Transients Program*, ou *ATP*. O sistema fotovoltaico simulado foi o modelo proposto do tipo 3, onde são inseridos valores de módulos comerciais em sua base de entrada. O modelo segue as Eq. (1) a (5) (Rauschembach, 1980), onde  $I$  é a corrente da célula fotovoltaica, em Amperes,  $I_{sc}$  é a corrente de curto circuito, em Amperes,  $V$  é a tensão nominal, em Volts,  $V_{mp}$  é a tensão na máxima potência, em Volts,  $V_{oc}$  é a tensão de circuito aberto, em Volts, e  $I_{mp}$  é a corrente de máxima potência, em Amperes.

$$I = I_{sc} \{1 - C_3 [e^{(C_4 V^m)} - 1]\} \quad (1)$$

$$m = \frac{\left[ \ln \left( \frac{C_5}{C_6} \right) \right]}{\left[ \ln \left( \frac{V_{mp}}{V_{oc}} \right) \right]} \quad (2)$$

$$C_4 = \frac{C_6}{V_{oc}^m} \quad (3)$$

$$C_5 = \ln \left[ \frac{I_{sc}(1 + C_3) - I_{mp}}{C_3 I_{sc}} \right] \quad (4)$$

$$C_6 = \ln \left( \frac{1 + C_3}{C_3} \right) \quad (5)$$

A constante  $C_3$  não pode ser expressa em termos algébricos e deve ser obtida por meio de métodos empíricos; portanto, seu valor ótimo para que os erros sejam mínimos é de 0,01175 para a tecnologia de silício cristalino, devendo ser modificada para a mudança de tecnologia. Sendo essas as equações básicas para a operação de um módulo fotovoltaico, deve-se aplicar em meio aos cálculos os efeitos externos, temperatura e irradiação, envolvidos no processo. São definidas as variações sofridas pela corrente e pela tensão de acordo com os fatores externos. As Eq.(6) e (7) definem os valores dessas variações (Rauschembach, 1980), onde  $\Delta I$  é a variação da corrente, em Amperes,  $\Delta V$  é a variação de tensão, em Volts,  $S$  é a irradiação solar, em Watt por metro quadrado,  $T$  é a temperatura, em graus Celsius,  $\alpha$  é o coeficiente de variação com a temperatura da corrente de curto-circuito, em ampere por grau Celsius,  $\beta$  é o coeficiente de variação com a temperatura da tensão de circuito aberto, em Volts por grau Celsius,  $R_{int}$  é a resistência interna e  $k_p$  é constante de ajuste geométrico. Os valores com índice *ref* são de referência.

$$\Delta I = I_{sc} \left( \frac{S}{S_{ref}} - 1 \right) + \alpha (T - T_{ref}) \quad (6)$$

$$\Delta V = \beta (T - T_{ref}) - \Delta I R_{int} - K_p \quad (7)$$

Para uma modelagem mais precisa, devem ser adicionados os efeitos de células arranjadas em série e em paralelo. O arranjo em série aumenta a tensão terminal, enquanto que o arranjo em paralelo aumenta a corrente de saída. Desta forma, a utilização das Eq. (8) a (11) modifica os dados de entrada (Rauschembach, 1980), em que o índice *novo* indica um novo valor para o termo, o índice *s* indica os módulos em série e o índice *p* os em paralelo.

$$V_{novo} = V * N_s \quad (8)$$

$$\beta_{novo} = \beta * N_s \quad (9)$$

$$I_{novo} = I * N_p \quad (10)$$

$$\alpha_{novo} = \alpha * N_p \quad (11)$$

Por fim, devem ser adicionados efeitos de resistência em série e em paralelo equivalentes que podem ser provocados por conexões não ideais. A Eq.(12) indica a aplicação da resistência paralela, representada por  $R_p$  e a Eq.(13) a da serial, representada por  $R_s$ , finalizando a modelagem matemática (Kininger, 2003).

$$I_{saída} = I - \frac{V}{R_p} \quad (12)$$

$$V = V + R_s * I_{saída} \quad (13)$$

Os valores a serem inseridos nas equações são encontrados nos manuais dos fabricantes e os valores de referência são definidos pela UL 1704/2004, de 1.000 W/m<sup>2</sup> de irradiação e 25 °C de temperatura. O valor de  $R_{int}$  foi considerado como o usual de 0,3  $\Omega$  e como a conexão foi considerada como perfeita,  $R_s$  e  $R_p$  foram tidos como nulos.

## 2.2 O conversor elevador de tensão

O conversor *Boost* tem dois estágios de funcionamento, o primeiro quando o interruptor se encontra fechado e o segundo quando este é aberto. No primeiro estágio, a corrente circula pelo indutor, que gera um campo magnético e o polariza. No segundo, a corrente estará reduzida com a alta impedância. O campo magnético, então, é destruído para manter a corrente fluindo para a carga, a polaridade do indutor é revertida, resultando em duas fontes em descarga e aumentando a tensão na saída. A Fig. 1 apresenta o conversor *Boost* e seus dois estágios de operação.

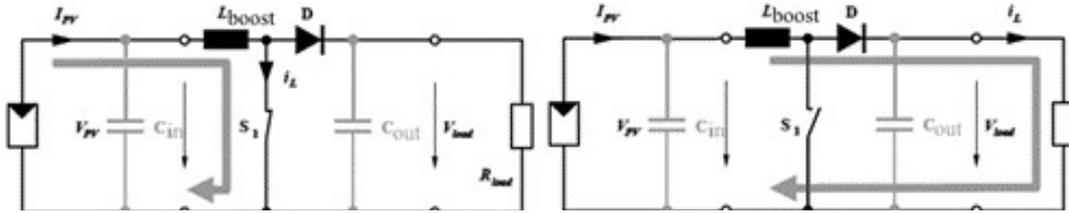


Figura 1 – O funcionamento de um conversor *Boost*. (Kininger, 2003)

Para o cálculo do valor do indutor do boost e do capacitor de entrada, devem ser utilizadas as Eq.(14) e (15), onde são definidos os valores de suas variáveis nas Eq.(16) e (17) (Barbi, 2006). Com os valores do indutor e do capacitor de entrada definidos, é calculado o capacitor de saída pela Eq. (18) (Barbi, 2006), onde  $L_{boost}$  é a indutância, em Henrys,  $C$  é a capacitância, em farads,  $D$  é a razão cíclica,  $Ripple$  é a ondulação admitida,  $f_{chave}$  é a frequência de chaveamento, em Hertz,  $P_{in}$  é a potência de entrada, em Watts. Os índices *in* e *out* definem valores de entrada e saída, respectivamente.

$$L_{boost} = \frac{V_{in} * D}{f_{chave} * \Delta I} \quad (14)$$

$$C_{in} \geq \frac{\frac{P_{in} * D}{V_{in}}}{f_{chave} * V_{in} * Ripple} \quad (15)$$

$$D = \left(1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}\right) \quad (16)$$

$$\Delta I = Ripple * I_{admitido} * \frac{P_{in}}{V_{in}} \quad (17)$$

$$C_{out} = \frac{\left(\frac{\sqrt{2} * V_{rede}}{V_{out}} - \frac{1}{\eta * V_{in}}\right) * P_{in}}{4 * \pi * V_{out} * Ripple * V_{admitido}} \quad (18)$$

## 2.3 Os métodos de MPPT

São utilizados 12 métodos de MPPT a fim de analisar o comportamento de cada um. Serão dois métodos de relação constante: razão cíclica fixa (Rcte) e tensão constante (Vcte). Seis baseados em métodos do tipo *Hill Climbing*<sup>1</sup>: perturba e observa clássico (P&OC), perturba e observa moderno (P&O), perturba e observa modificado (P&OM), estima, perturba e perturba (EPP), condutância incremental (CI) e condutância incremental modificada (CIM). Dois métodos baseados na aplicação de filtros: oscilação do sistema (Ods) e correlação de ripple (CdR). Finalmente, mais dois métodos que utilizam princípios próprios: método beta ( $M\beta$ ) e o método de temperatura ( $\Delta T$ ).

**Método Rcte.** Este é o mais simples dos métodos por não existir realimentação nem controle. A razão de chaveamento é ajustada uma única vez e assim é mantida (Brito, 2010 e 2013).

**Método Vcte.** Esta técnica é baseada na premissa de que a tensão de máxima potência e a tensão de circuito aberto têm aproximadamente uma relação linear independente de fatores externos. O fator de tensão depende das características do arranjo utilizado e é calculado empiricamente, onde se encontra entre 0,7 e 0,8 (Brito, 2010)(Seguel, 2009).

**Método P&OC.** Esta técnica é a mais utilizada devido à fácil implementação. Como o nome sugere, a técnica consiste em perturbar a tensão do arranjo em uma direção e observar a potência na saída. Se a potência aumentar, a perturbação continua na mesma direção; caso contrário, a perturbação muda de direção. Como o processo é repetido periodicamente, o MPP nunca será atingido, pois a perturbação sempre acontece deixando o sistema oscilando próximo

<sup>1</sup> Otimização matemática que pertence à família de busca local, onde se inicia com uma solução arbitrária e busca a otimização por incrementar a variável de processo. Se isso produzir uma melhor solução, é repetido até que não seja possível encontrar melhorias no processo.

a este em regime permanente. A Fig. 2 traz o fluxograma do método P&O clássico (Seguel, 2009).

**Método P&O.** O método P&O moderno se assemelha ao clássico, mas com um desvio na linha de cálculo que mantém os valores anteriores antes de se calcular uma nova referência. Este desvio geralmente é apresentado como sendo de zero (como nenhum desvio na diferença de potência), mas podem ser aceitos pequenos desvios na perturbação. Basta aplicar um range de aceitação  $R$  anterior à verificação de variação de potência, eliminando a oscilação do sistema quando a potência se aproximar da máxima, visto na Fig. 3 (Brito, 2010 e 2013).

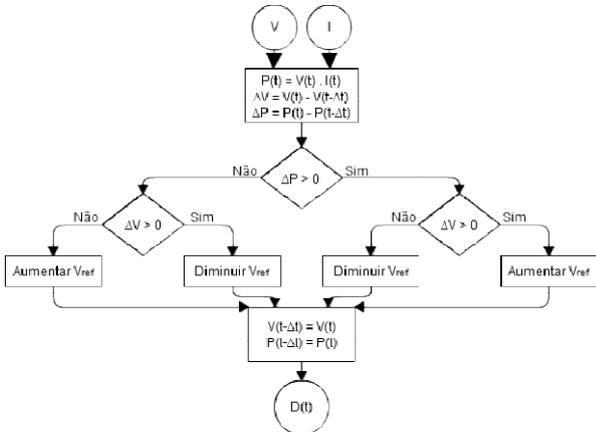


Figura 2 – Método P&O Clássico.

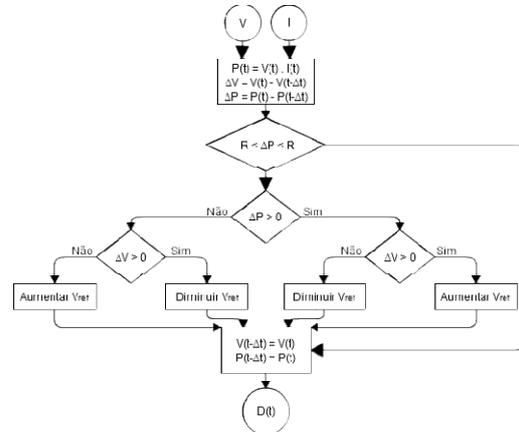


Figura 3 – Método P&O.

**Método P&OM.** O método de perturbação e observação modificado tenta resolver o problema de flutuações causadas por perturbações na irradiação ou na temperatura. Seu fluxograma é apresentado na Fig. 4. Este método adiciona valores estimados para mudanças na irradiação a cada perturbação causada pelo processo (Yafaoui, 2007).

**Método EPP.** O último dos métodos da classe de perturbação tenta fazer com que a velocidade do P&OM aumente, ainda estimando os valores de mudança de irradiação e temperatura. Seu fluxograma está na Fig. 5 (Yafaoui, 2007).

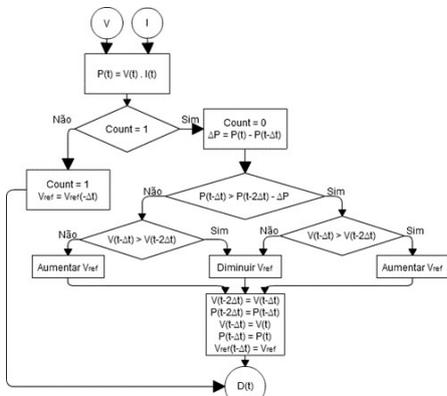


Figura 4 – Método P&OM.

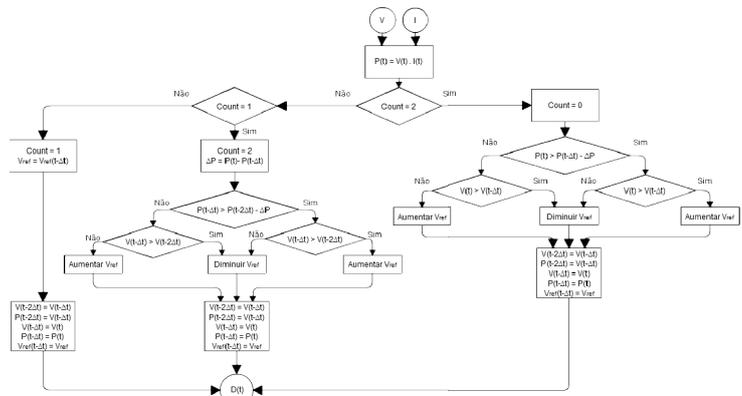


Figura 5 – Método EPP.

**Método CI.** Tal método se baseia nos valores de condutância instantânea e incremental do arranjo. São necessárias medidas de corrente e de tensão e, por meio destas, pode-se derivar a potência obtida pela tensão, resultando a Eq. (19). Dividindo todos os termos de (19) pela tensão, tem-se a Eq. (20).

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \frac{\partial (V * I)}{\partial V} = I + V \frac{\partial I}{\partial V} \quad (19)$$

$$\frac{1}{V} * \frac{\partial P}{\partial V} = \frac{I}{V} + \frac{\partial I}{\partial V} \quad (20)$$

Como a tensão sempre é positiva, o sinal da derivada da potência pela tensão é a soma da condutância instantânea e a condutância incremental, como mostrado em (20). Desta forma é possível descobrir em que lado da curva de potência o sistema se encontra (e quando o sistema se encontra no MPPT), já que neste ponto a Eq.(20) se mostra como zero não sendo preciso modificar o ciclo de trabalho. A Fig. 6 mostra o fluxograma deste método (Seguel, 2009).

**Método CIM.** Este método toma em consideração o termo que indica que o sistema está no MPPT. Na prática, dificilmente será satisfeita, devido a ruídos de medição, erros de quantização e discretização da tensão de referência. É necessário, então, definir uma faixa de tolerância ( $\Delta W$ ) em que a situação possa ser considerada verdadeira. O

fluxograma da Fig. 7 apresenta o funcionamento deste método (Seguel, 2009).

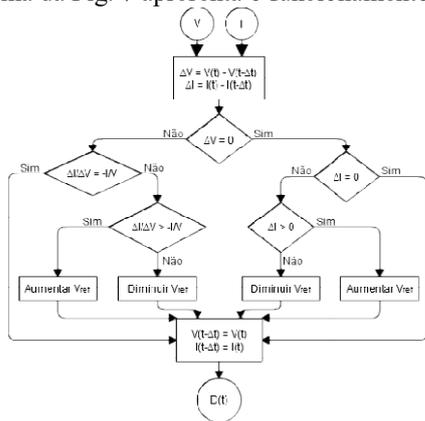


Figura 6 – Método CI.

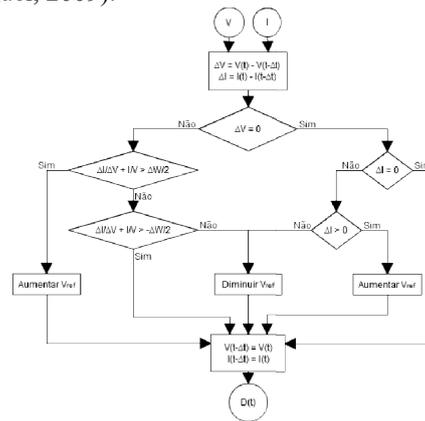


Figura 7 – Método CIM.

**Método Ods.** O método de oscilação do sistema é baseado no princípio da máxima transferência de potência e utiliza oscilações para determinar o ponto de ótima operação. Em painéis fotovoltaicos, o MPPT pode ser encontrado igualando-se a razão entre o pico da resistência dinâmica e o dobro da resistência interna do painel. Com a aplicação de filtros é possível descobrir esta razão a partir da medida de tensão. Seu fluxograma é apresentado na Fig.8 (Brito, 2010 e 2013).

**Método CdR.** Também baseado no princípio da máxima transferência de potência, o método de correlação de Ripple utiliza oscilações para determinar o ponto ótimo com a vantagem de não necessitar de profundo conhecimento dos parâmetros do painel em que ele será aplicado. Seu fluxograma está apresentado na Fig. 9 (Brito, 2010 e 2013).

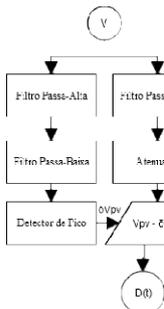


Figura 8 – Método Ods.

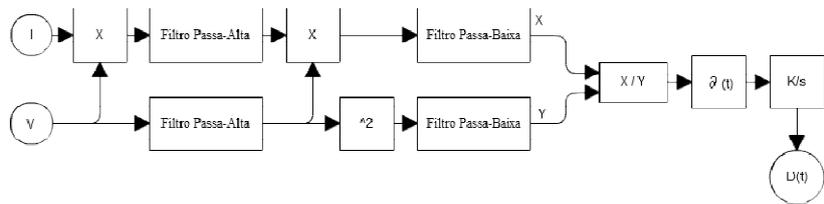


Figura 9 – Método CdR.

**Método β.** A partir das características de corrente e tensão de um painel, pode-se chegar à relação β apresentada na Eq. (21), tendo sua constante c apresentada na Eq. (22), onde q é a carga de um elétron, em *Coulombs*, η é o fator de qualidade da junção p-n, k é a constante de Boltzmann, T é a temperatura. Os índices pv informam que o valor é do arranjo fotovoltaico, e o índice o indica a saturação da junção p-n. O fluxograma do método é apresentado na Fig. 10 (Brito, 2010 e 2013).

$$\beta = \ln\left(\frac{I_{pv}}{V_{pv}}\right) - c * V_{pv} = \ln(I_o * c) \tag{21}$$

$$c = \frac{q}{\eta * k * T * N_s} \tag{22}$$

**Método ΔT.** O método de temperatura utiliza funcionalidades do método de tensão constante, atualizando o valor de tensão do ponto de máxima potência por meio de uma correção nesta variável com sensores de temperatura na superfície do painel. Esta correção é interessante, uma vez que a tensão no MPP varia com a mudança de temperatura. Seu fluxograma é visto na Fig. (11) (Brito, 2013).

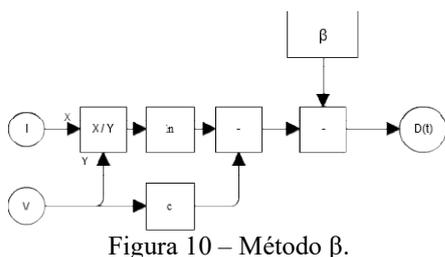


Figura 10 – Método β.

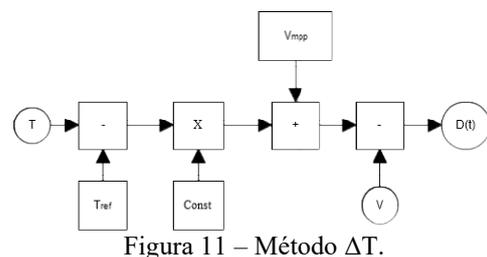


Figura 11 – Método ΔT.

### 3. SIMULAÇÕES, RESULTADOS E ANÁLISES

Na simulação computacional foram utilizados 8 módulos em série do tipo KD 135 F, SX SERIES da fabricante *Kyocera*, mostrados na Tab. 1. Os parâmetros do conversor são amostrados na Tab.2 e as respostas utilizando os MPPTs informados estão apresentados na Fig. 12 a 23.

Tabela 1 – Parâmetros do módulo fotovoltaico.

Modelo	KD 135 F, SX SERIES
Máxima potência	135
Tolerância	+5% / -5%
$V_{oc}$ (V)	22,1
$I_{sc}$ (A)	8,37
$V_{mpp}$ (V)	17,7
$I_{mpp}$ (A)	7,63
$\alpha$	0,00502
$\beta$	-0,08

Tabela 2 – Parâmetros do conversor CC-CC.

Tipo	Valor	Unidade
Tensão de entrada	141,6	V
Potência máxima	1.080	W
Tensão de saída	200	V
Frequência de chaveamento	5.000	Hz
Ondulação de tensão	0,05	V
Ondulação de corrente	0,5	A
Rendimento	0,93	Adimensional
Resistência de saída	37,0370	Ohm
Razão Cíclica	0,2920	Adimensional
Indutor	2,1684	mH
Capacitor de entrada	62,9130	uF
Capacitor de saída	242,7513	uF

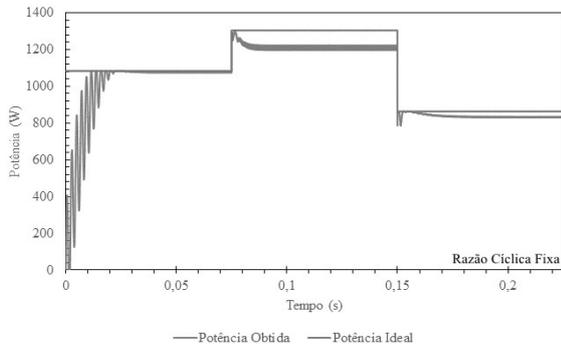


Figura 12 – Método da Rcte.

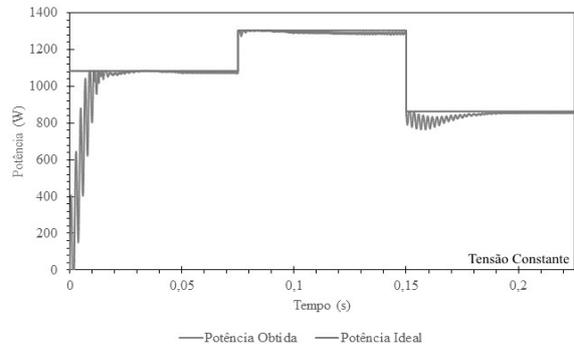


Figura 13 – Método da Vcte.

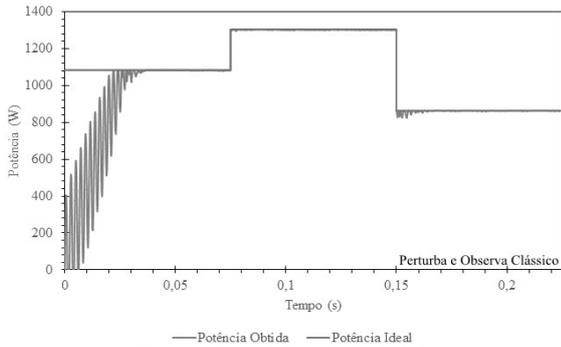


Figura 14 – Método P&OC.

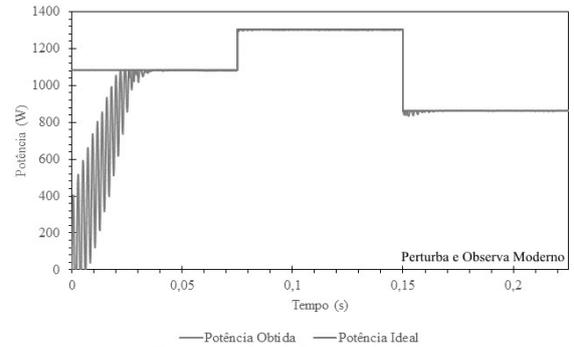


Figura 15 – Método P&O.

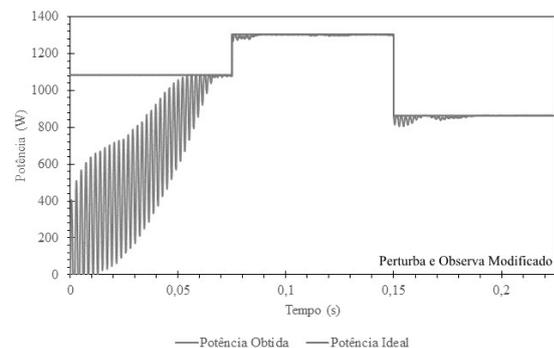


Figura 16 – Método P&OM.

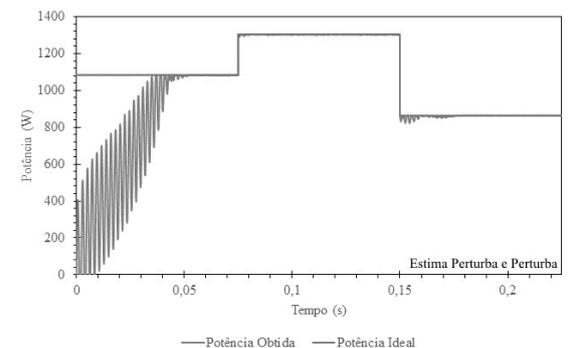
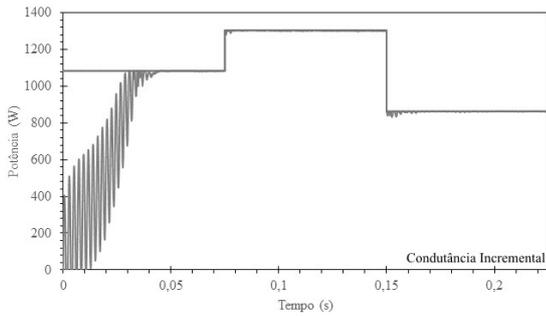
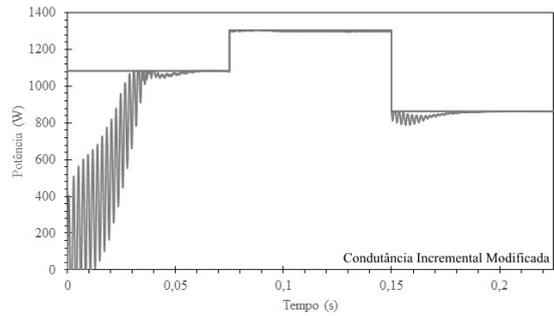


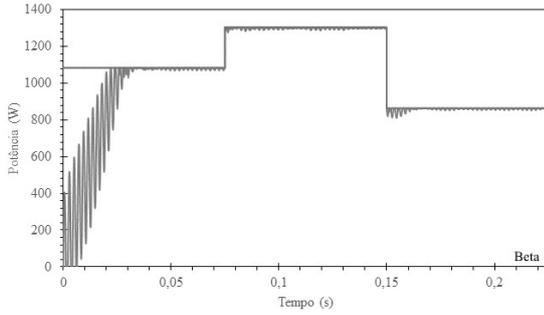
Figura 17 – Método EPP.



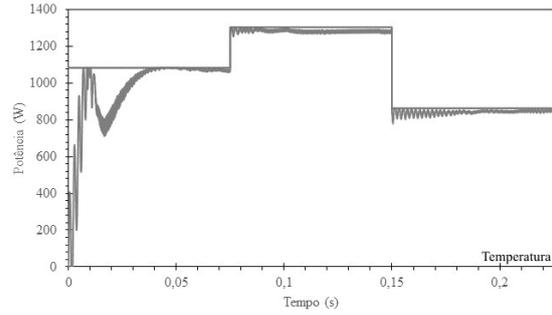
—Potência Obtida —Potência Ideal  
**Figura 18 – Método CI.**



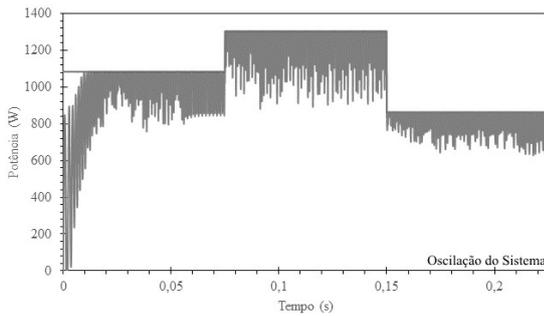
—Potência Obtida —Potência Ideal  
**Figura 19 – Método CIM.**



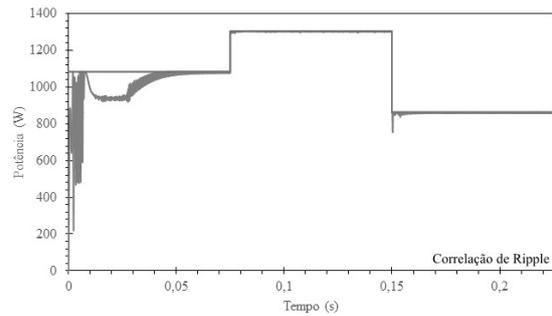
—Potência Obtida —Potência Ideal  
**Figura 20 – Método  $\beta$ .**



—Potência Obtida —Potência Ideal  
**Figura 21 – Método de  $\Delta T$ .**



—Potência Obtida —Potência Ideal  
**Figura 22 – Método de Ods.**



—Potência Obtida —Potência Ideal  
**Figura 23 – Método de CdR.**

A resposta em potência dos diferentes métodos se mostra bastante variada, cada método com suas vantagens, seja na velocidade de resposta, seja na oscilação obtida em regime permanente. Alguns métodos se comportam de maneira lenta nas respostas aos degraus, outras respondem mais rapidamente, cada um com sua aplicação própria aos sistemas. Os piores resultados computacionais provêm do método de Razão Cíclica Fixa, Tensão Constante e de Oscilação do Sistema, em que são obtidas respostas muito lentas e baixa busca de potência, o melhor sendo o método de tensão constante, porém para maiores oscilações de irradiação seu erro é muito maior. Os métodos que obtêm melhor desempenho são os de Correlação de Ripple e os baseados em Hill Climbing, como o Perturba e Observa e o Condutância Incremental e suas modificações, que apesar de se apresentarem lentas inicialmente, após retiradas as inércias dos componentes do Boost, são métodos muito eficientes. Destaca-se, também, o método *Beta*, com resultados muito satisfatórios e rápidos. Por fim é apresentada uma tabela com as vantagens e desvantagens de cada método, na Tab. 3.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens de cada método de MPPT utilizado (Continua)

Processo	Vantagens	Desvantagens
Razão Cíclica Fixa	Simplicidade de aplicação Baixo custo	Sacrifícios na entrega de potência Sintonia <i>off-line</i>
Tensão Constante	Simplicidade de aplicação Baixo custo	Erros de regime permanente Sintonia <i>off-line</i>
P&O Clássico	Simplicidade de aplicação	Resposta Lenta em alterações bruscas de Irradiação e Temperatura Oscilações em regime permanente
P&O	Menor oscilação em regime permanente	Resposta Lenta em alterações bruscas de Irradiação e Temperatura

P&O Modificado	Tenta resolver flutuações de Irradiação e Temperatura	Resposta muito lenta
Tabela 3: Vantagens e desvantagens de cada método de MPPT utilizado (Conclusão)		
Processo	Vantagens	Desvantagens
Estima Perturba e Perturba	Estima futuras alterações de Irradiação e Temperatura	Resposta lenta
Condutância Incremental	Simplicidade de aplicação Baixo custo	Resposta Lenta em alterações bruscas de Irradiação e Temperatura Oscilações em regime permanente
Condutância Incremental Modificado	Menor oscilação em regime permanente	Resposta Lenta em alterações bruscas de Irradiação e Temperatura
Oscilação do Sistema	Baixo custo Utilização de circuitos analógicos	Difícil sintonia Complexidade de instalação
Correlação de Ripple	Médio custo Utilização de circuitos analógicos	Difícil sintonia Complexidade de instalação
Beta	Boa sintonia	Requer a utilização de outros métodos em regime permanente
Temperatura	Simplicidade de aplicação Baixa oscilação	Resposta Lenta

#### 4. CONCLUSÕES

O uso dos vários tipos de *MPPT* também seguiram as expectativas iniciais. A utilização de doze métodos de *MPPT* aplicados no *ATP* já abre um leque de consideráveis opções para se controlar um sistema fotovoltaico. Como vistos nas figuras, os *MPPTs* apresentam a funcionalidade desejada, mantendo a tensão no nível em que a transferência de potência é máxima. Por fim, na Tab. 4, são reunidas as informações obtidas na análise computacional e as informações literais explanadas concluindo as vantagens e desvantagens de cada método, com a ressalva de que cada método possui sua diferente aplicação.

#### REFERÊNCIAS

- ANEEL. **BIG** – Banco de informações de Geração. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em 26 de Out. 2015.
- BARBI, I. **Conversores CC-CC Básicos Não Isolados**. 2006. INEP – Universidade Federal de Santa Catarina.
- BRITO, M. A. G. **Inversores Integrados Monofásicos e Trifásicos para Aplicações Fotovoltaicas: Técnicas para obtenção de MPPT, detecção e proteção de ilha, sincronização e paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica**. 191 p. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista – UNESP. Faculdade de Engenharia Elétrica de Ilha Solteira. 2013.
- BRITO, M. A. G., JUNIOR, L. G., SAMPAIO, L. P., CANESIN, C. A. **Avaliação das Principais Técnicas para Obtenção de MPPT de Painéis Fotovoltaicos**. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira – São Paulo. 2010.
- KININGER, F. **Photovoltaic Systems Technology**. 2003. Universität Kassel – Institut für Rationelle Energiewandlung. Kassel, Alemanha.
- KYOCERA. **KYOCERA KD 135 F, SX Series**. 2014. Manual do produto. Disponível em [www.kyocerasolar.com.br](http://www.kyocerasolar.com.br). Acesso em Set. 2015.
- RAUSCHEMBACH, H. S. **Solar Cell Array Design Handbook – The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion**. Van Nostrand Reinhold Company, 1980. ISBN: 978-94-011-7917-1. Pp. 30-241.
- SEGUEL, J.I.L. **Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autônomo de Suprimento de Energia Usando Técnica MPPT e Controle Digital**. 206 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2009.
- UL 1743. **UL Standard for Safety for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels**. 2002. Underwriters Laboratories, Terceira Edição, revisão de 2004. Northbrook, IL. ISBN 0-7629-0760-6.
- YAFAR, A., WU, B. e CHEUNG, R. **Implementation Of Maximum Power Point Tracking Algorithm For Residential Photovoltaic Systems**. 6 p. 2<sup>nd</sup> Canadian Solar Buildings Conference. Department of Electrical & Computer Engineering, Ryerson University – Toronto, Ontario, Canadá. 2007.

#### COMPUTER ANALYSIS OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) TECHNIQUES FOR APPLICATION IN PHOTOVOLTAIC ARRANGEMENTS

**Abstract.** This paper presents a computational verification of the performances of several kinds of maximum power point tracking methods (MPPT) in photovoltaic systems with the Alternative Transients Program (ATP) and thus comparing the application of each model of method. A type of solar cell, in which commercial data of a particular module can be inserted, will be used, with various types of MPPT methods of controlling the converter in which it must be connected. In order to present in detail the system connection module DC-DC converter (DC), twelve MPPT methods are shown theoretically and tested via computer.

**Key words:** ATP, MPPT, Photovoltaic Systems