

Adaptação Fuzzy de um Algoritmo de Busca do Ponto de Máxima Potência (MPPT) em Placas Solares e Comparação com Métodos Clássicos.

R.R.A. Galvão

Centro Internacional de Energias Renováveis
Rede das Organizações Unidas para o Desenvolvimento
Industrial (ONU-INDU)
Foz do Iguaçu, Paraná
rodrigo.regis@pti.org.br

F. M. Wittmann

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Foz do Iguaçu, Paraná
fernando.wittmann@unioeste.br

A. Oliveira

Universidade de Pernambuco
aldonsojr@gmail.com

Abstract—This paper proposes an adaptation of perturb and observe classic (P & O) of maximum power point tracking (MPPT) in photovoltaic array (PV) for a P&O fuzzy model. Also featured will be increased conductance algorithm which is a more robust technique for implementation when compared to technical P & O-Classical. The paper presents comparisons between these three techniques and present which one performs better, ie, which has faster response and lower noise. The test environment was MATLAB-Simulink.

Keywords—Maximum power point tracking; Fuzzy logic; photovoltaic;

I. INTRODUÇÃO

O aumento do uso de fontes de energias renováveis na matriz energética mundial se deve a diversos fatores como a necessidade de sustentabilidade ambiental e econômica. Nesse contexto, a energia solar é uma das alternativas que vem crescendo a cada ano no cenário global e nacional. No Brasil, nos próximos 3 anos o potencial instalado de geração fotovoltaica irá duplicar devido ao incentivo da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) na chamada estratégia de Pesquisa e Desenvolvimento N° 13 voltada para o desenvolvimento de arranjos técnicos fotovoltaicos (PV).

Neste cenário, é importante estudar técnicas e estratégias que visam otimizar a geração de energia fotovoltaica, pois comparadas a outras fontes renováveis ainda possui baixa eficiência de conversão.

A placas PV são uma fonte não linear de geração que possui uma curva característica (potência x tensão) que apresenta um ponto de operação que equivale ao ponto de máxima potência (*Maximum Power Transfer* - MPP). Esse ponto varia de acordo com a temperatura e irradiação na célula fotovoltaica [1]. Para extrair a máxima potência das placas solares são usados controladores que possuem algoritmos de rastreamento de ponto de máxima potência (*Maximum Power Point Tracking* - MPPT). Existem diversas técnicas de MPPT e neste trabalho serão apresentados três técnicas, são elas: Perturba & Observa (P&O), Incremento de Condutância (que neste trabalho chamaremos de técnicas clássicas) e P&O Fuzzy

que foi desenvolvido baseado em técnicas de inteligência computacional.

O objetivo do trabalho é apresentar as técnicas e comparar os resultados obtidos afim de apresentar qual das técnicas possuem melhor rendimento, isto é, qual das técnicas convergem mais rápido quando submetido a testes e, assim, otimizam a geração de energia. O ambiente de teste escolhido foi o MATLAB.

II. SISTEMA PV UTILIZADO NO MATLAB-SIMULINK

O sistema basicamente utilizou um conversor DC-DC que pode ser usado como regulador de modo de comutação para converter uma tensão de corrente contínua, normalmente não regulada, para uma voltagem de saída DC regulada. A regulação é normalmente conseguida por PWM e o dispositivo de comutação é normalmente MOSFET ou IGBT. A função do conversor boost DC-DC é aumentar a tensão DC. A Fig. 1 mostra a configuração de DC-DC conversor boost com a placa PV como entrada. A potência máxima é alcançada quando o algoritmo MPPT processa as mudanças de temperatura e irradiação ajusta o impulso conversor DC-DC [5].

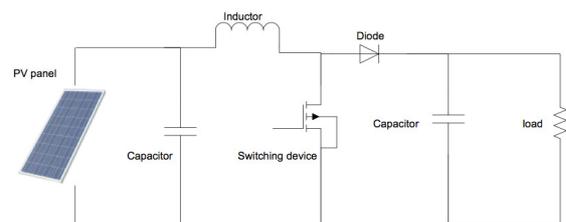


Fig. 1. Conversor Boost DC-DC (fonte: [2]).

III. MPPT

Uma célula fotovoltaica comercial possui eficiência em torno de 20% podendo atingir até 25% em laboratório. Em condições reais, uma eficiência menor pode ser observada [1]. Os arranjos fotovoltaicos devem ser instalados de forma que maximizem a quantidade de exposição direta ao sol. Mas isto não é suficiente para garantir a máxima eficiência. A potência

fornecida por uma placa varia em relação à tensão em que a placa está operando. Existe um único ponto de operação no qual a máxima potência é transferida. Este ponto possui uma variação não linear com a irradiação solar e a temperatura da célula [1]. A Fig. 2 exibe três curvas de potência em função da tensão de operação, cada uma para uma temperatura e irradiação específica. Observa-se que cada curva possui um único ponto em que a potência é máxima. Com o objetivo de fazer com que a placa fotovoltaica opere neste ponto, independente das condições meteorológicas, utiliza-se técnicas para o rastreamento do ponto de máxima transferência de potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*). Existem várias técnicas, com diferentes estratégias para busca deste ponto. A seguir serão vistas 3 técnicas, sendo duas delas clássicas e uma moderna, que utiliza lógica fuzzy.

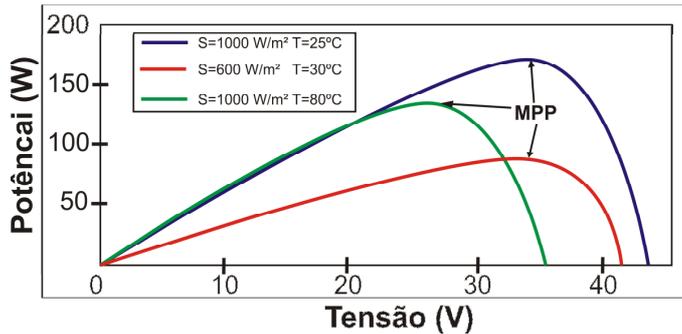


Fig. 2. Curvas de Tensão vs Potência para três condições diferentes.

A. Técnica Perturba e Observa (P&O)

Esta é a técnica mais utilizada devido à fácil implementação. Sua estratégia resume-se a aplicar uma perturbação, incremental ou decremental, na tensão de operação da placa. O passo seguinte é medir a variação de potência que ocorreu, se for positiva, repete-se a mesma perturbação, se a variação de potência for negativa, inverte-se o sinal da perturbação [3]. A Fig. 3 mostra um diagrama de blocos com o algoritmo P&O. Como vantagem desta técnica tem-se a sua simplicidade. No entanto, como desvantagem, tem-se que o sistema nunca atingirá o ponto desejado, e sim oscilará em torno do mesmo, o que causa perdas energéticas [1]. A amplitude desta oscilação dependerá do tamanho do incremento utilizado. Para um valor incremental elevado, o sistema atinge mais rapidamente o MPP, porém, com uma oscilação maior em torno do ponto. Por outro lado, para um valor incremental baixo, o sistema demora mais para atingir o MPP, contudo, com uma oscilação menor em torno do ponto [4]. Portanto, para esta técnica, define-se um tamanho de incremento adequado que pondere a velocidade de convergência e a amplitude de oscilação de potência.

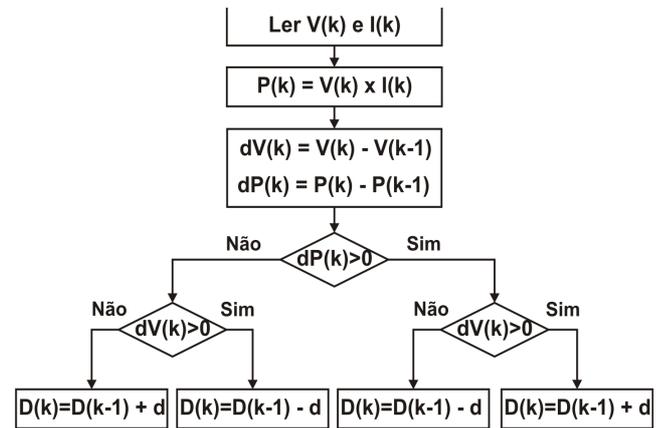


Fig. 3. Fluxograma ilustrando o algoritmo da técnica P&O.

B. Técnica Incremento de Condutância (IncCond)

Esta técnica é considerada mais efetiva que a P&O para a busca do MPP (*Maximum Power Point* - ponto de máxima potência). Sua estratégia resume-se à observação da derivada da potência em relação à tensão (dP/dV). Pode-se observar a partir da Fig. 2, que esta derivada será nula apenas no MPP, será positiva caso esteja operando à esquerda do MPP na curva e será negativa se estiver operando à esquerda do MPP na curva. (1) contém a derivada da potência em relação à tensão dividido pela tensão.

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (1)$$

Como V é sempre positivo, tem-se que o sinal da derivada da potência em relação à tensão dependerá da soma observada ao lado direito de (1). Quando esta soma for nula, tem-se que o sistema está operando no MPP. Na prática esta condição será dificilmente satisfeita, devido a ruídos de medição e discretização da tensão de referência. Portanto, define-se uma faixa de tolerância (ΔW) no qual esta condição será considerada verdadeira. Portanto neste método deve-se definir um valor adequado para ΔW . O fluxograma da Fig. 4 ilustra esta o algoritmo desta técnica. Como vantagens, têm-se um tempo de resposta mais elevado, se comparado com a técnica P&O, e ao atingir o MPP, não ocorrerá oscilação em torno do ponto.

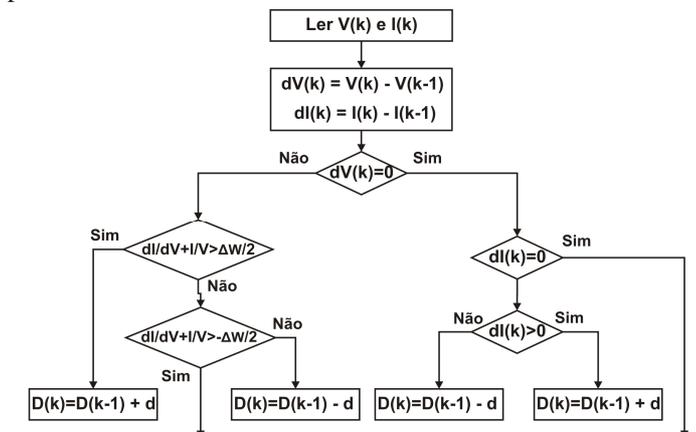


Fig. 4. Fluxograma ilustrando o algoritmo da técnica IncCond.

C. P&O Fuzzy

O método P&O-Fuzzy busca melhorar o método P&O com a utilização de uma amplitude de perturbação variável. Desta forma, diminui-se a oscilação em torno do MPP e garante-se um tempo de resposta maior [1]. Para este método, utiliza-se um bloco fuzzy que tem como entradas a variação de tensão e potência (ΔP e ΔV) e como saída o incremento ou decréscimo a ser aplicado na tensão de operação. A Fig. 5 ilustra as 4 etapas contidas no bloco fuzzy: fuzzificação, inferência, banco de regras e defuzzificação. A Fig. 6 exibe a função de pertinência e a Tabela 1 o banco de regras. No processo de fuzzificação, os valores de ΔP e ΔV são convertidos em variáveis linguísticas. Estas variáveis são NG (Negativo Grande), NM (Negativo Médio), NP (Negativo Pequeno), Z (Zero), PP (Positivo Pequeno), PM (Positivo Médio) e PG (Positivo Grande). Para a inferência, utiliza-se o método *Sugeno*. O banco de regras (Tabela 1) contém 49 regras. No processo de defuzzificação, utiliza-se o método centróide. A saída do bloco é conectada a um controlador para regular a tensão do conversor. Sua tarefa é diminuir o erro entre a tensão de referência e a tensão medida[1].

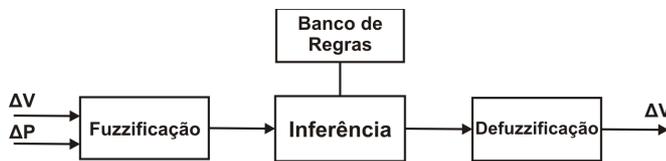


Fig. 5. Diagrama de blocos da técnica P&O Fuzzy.

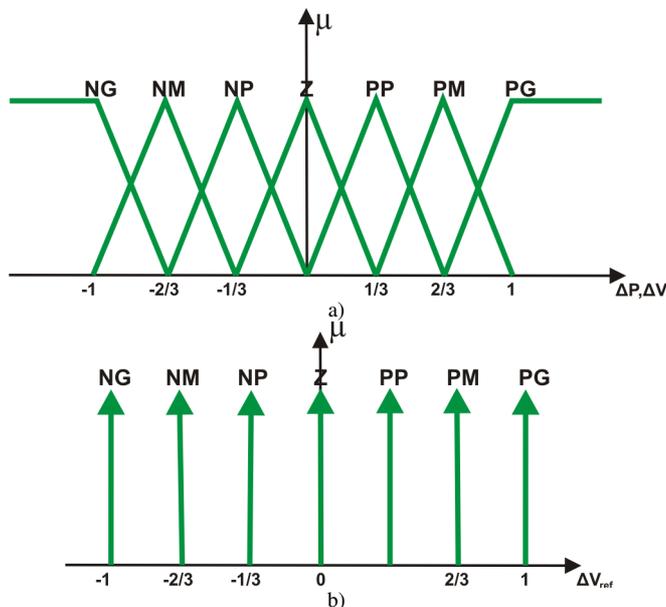


Fig. 6. Funções de pertinência a) de entrada b) de saída.

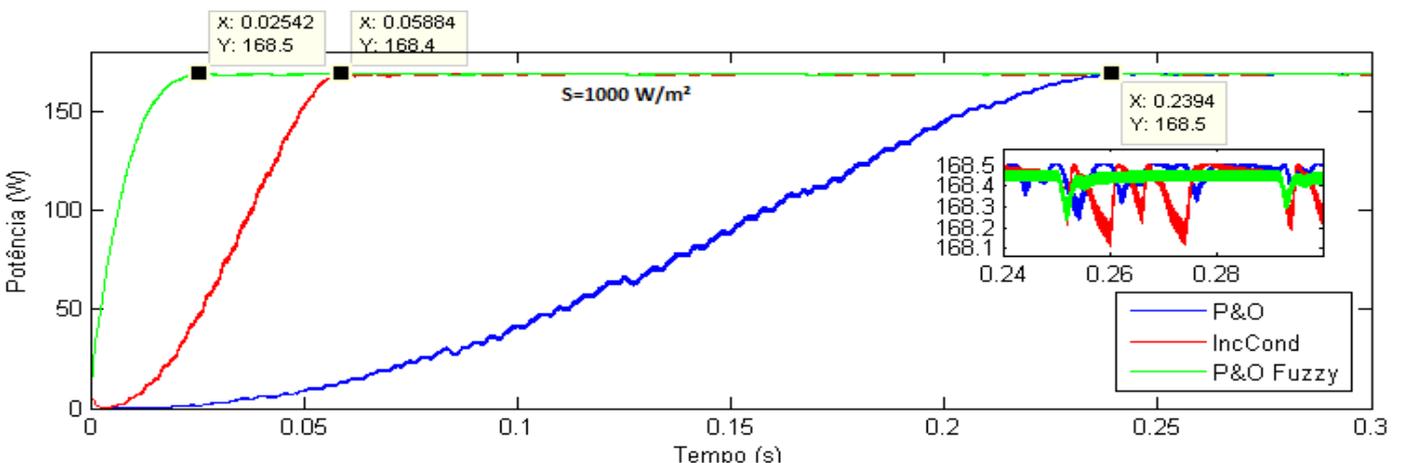


Fig. 7. Simulação I: Comparação entre as três técnicas

TABELA I. BANCO DE REGRAS

$\Delta V \backslash \Delta P$	NP	NM	NG	Z	PP	PM	PG
NP	PG	PG	PM	Z	NM	NG	NG
NM	PG	PM	PP	Z	NP	NM	NG
NG	PM	PP	PP	Z	NP	NP	NM
Z	NG	NM	NP	Z	PP	PM	PG
PP	NM	NP	NP	Z	PP	PP	PM
PM	NG	NM	NP	Z	PP	PM	PG
PG	NG	NG	NM	Z	PM	PG	PG

IV. RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

A seguir serão apresentados os resultados de simulações realizadas utilizando o Simulink. Foi criado um modelo de placa solar e em seguida adicionado ao mesmo um controlador para busca do ponto de máxima transferência de potência. Os dados de entrada dos blocos são a temperatura em $^{\circ}\text{C}$ e o nível de irradiação solar em W/m^2 . Como saídas, pode-se mensurar a potência que a placa está fornecendo, a qual depende destes dois parâmetros e a tensão em que a placa está operando.

A. Simulação I: Tempo de Convergência

A Fig. 7 apresenta o resultado da simulação comparando o tempo de inicialização das três técnicas. Os parâmetros de entrada são temperatura de 25°C e radiação de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. A técnica P&O demorou aproximadamente 240 ms para entrar em regime permanente. Já a técnica incremento de condutância aproximadamente 60 ms. A técnica P&O fuzzy demorou pouco mais de 25 ms. De acordo com simulações, a máxima potência que o sistema pode fornecer para as condições ambientais dadas é 168,51 W. Observa-se no detalhe da Fig. 7 que as três técnicas alcançam potências bem próximas à máxima. Quanto à oscilação, a técnica P&O oscilou entre 168,1 W a 168,5 W, ou seja, 0,4 W de oscilação. A técnica IncCond oscilou entre 168,25 W e 168,5 W. A técnica fuzzy oscilou entre 168,25 W e 168,46 W. Embora a técnica fuzzy tenha um valor máximo de potência ligeiramente menor que as outras técnicas, ela se mantém na maior parte do tempo neste patamar máximo, enquanto as outras duas técnicas oscilam constantemente entre os valores máximos e mínimos.

B. Simulação II: Variação da radiação solar

A Fig. 8 apresenta a potência fornecida pelas três técnicas em casos de mudança de radiação solar. Inicia-se o sistema operando na temperatura de 25°C e radiação de $200 \text{ W}/\text{m}^2$. Em seguida, em um determinado instante de tempo, aplica-se um degrau de radiação, subindo para $400 \text{ W}/\text{m}^2$. Pode-se observar também, a partir da Fig. 8, que a técnica P&O fuzzy respondeu com tempo menor que as outras duas técnicas e menor oscilação.

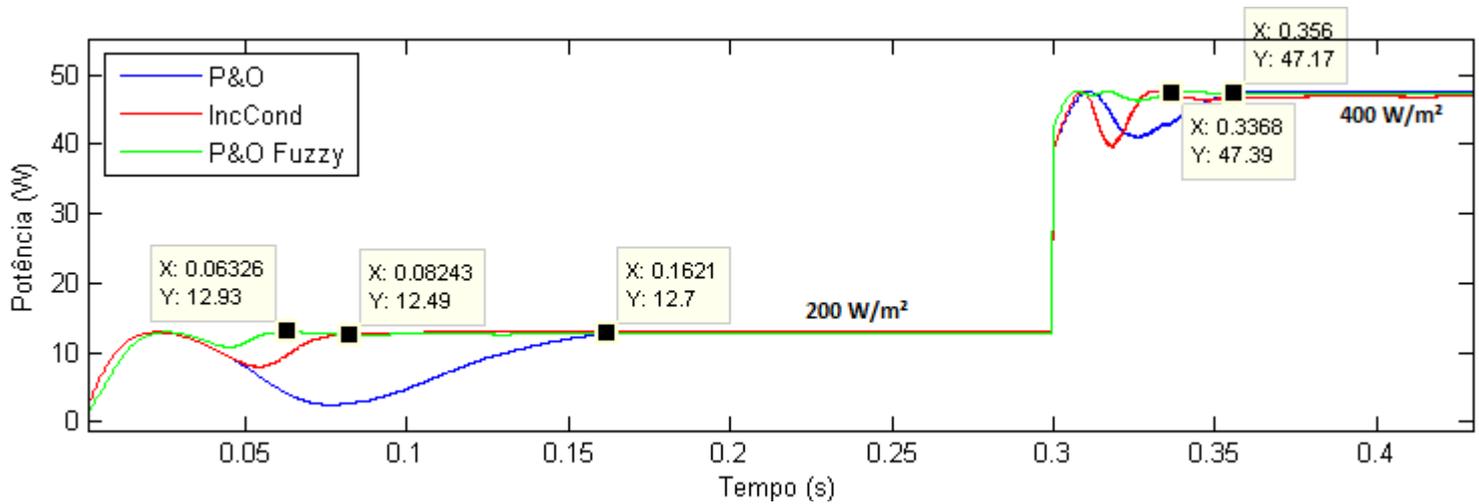


Fig. 8. Simulação II: Comparação entre técnicas com variação na radiação solar

V. CONCLUSÕES

Como conclusão, observou-se que a principal vantagem da utilização do algoritmo P&O Fuzzy em relação aos métodos clássicos (P&O e IncCond) é a sua rápida resposta. Na simulação 1 observou-se o P&O-Fuzzy entrou em regime permanente em menos de 30 ms, enquanto os métodos clássicos demoraram entre 60 ms e 240 ms. Quanto à potencia atingida em regime permanente, as três técnicas obtiveram valores bastante próximos ao máximo esperado com oscilação não maior que 0.4 W. Na simulação 2 observa-se que além de a técnica P&O-Fuzzy entrar em regime permanente mais rapidamente, ela sofre menos oscilações.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Rekioua, E. Matagne, "Optimized Use of PV Arrays" em *Optimization of Photovoltaic Power Systems*, New York, NY: ed. Springer, 2012, pp. 113-145.
- [2] M. A. A. M. Zainuri, M. A. M. Radzi, A. C. Soh, N. A. Rahim, "Adaptive P&O-Fuzzy Control MPPT for PV Boost Dc-Dc Converter", IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 2-5 de Dez., 2012, Kota Kinabalu Sabah, MY.
- [3] J. I. L. Seguel, "Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autônomo de Suprimento de Energia Usando Técnica MPPT e Controle Digital", Tese de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- [4] D. C. Martins, R. F. Coelho, W. M. Santos, "Técnica de Rastreamento de Máxima Potência para Sistemas Fotovoltaicos: Revisão e Novas Propostas", Mini-Curso, XI COBEP - Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, 11-15 de Set., 2011, Natal, BR.
- [5] D. P. Hohm, M. E. Ropp, "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 1ª ed., vol. 11, pp. 47-62, 2003.