

SISTEMA DE SEGUIMENTO SOLAR COM SEGUIMENTO DO PONTO DE POTÊNCIA MÁXIMA PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

José Itanor do Couto Rocha Filho – itanor@dee.ufc.br
Doglasse Ernesto Mendonça – doglasmend@yahoo.com.br
Daniel Parente Xavier – danielparente@dee.ufc.br
Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br
Sérgio Daher – sdaher@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. Visando motivar o uso da tecnologia fotovoltaica (FV), se torna cada vez mais importante o uso de alternativas para aumentar a eficiência dos sistemas FV. Entre essas alternativas está o uso do seguimento solar, que faz com que mais irradiação solar possa ser captada, ao fazer com que a superfície de captação solar se movimente de modo a acompanhar o movimento do Sol. Outra alternativa consiste no uso de técnicas para se fazer o seguimento do ponto de potência máxima do módulo fotovoltaico, de forma a procurar se extrair do módulo a máxima potência disponível conforme a irradiação solar e a temperatura variem ao longo do dia. No presente artigo, é apresentado um sistema de seguimento solar de 1 eixo, que opera em conjunto com um conversor cc-cc que, por meio da técnica de Perturbar e Observar (P&O), realiza o seguimento do ponto de máxima potência (MPPT) de um módulo FV. O sistema de seguimento e o conversor foram desenvolvidos no Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará (LEA – UFC) para as condições meteorológicas encontradas na cidade de Fortaleza/CE. Experimentos foram feitos em um dia ensolarado e em um dia nublado. Verificou-se que os ganhos energéticos do módulo FV com seguimento solar e com MPPT em relação a um módulo fixo foram de 83,56% no dia ensolarado e 55,26% no dia nublado.

Palavras-chave: Seguimento solar, Seguimento de ponto de potência máxima, Sistemas fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento no uso das fontes de energia renováveis, visando o desenvolvimento sustentável e preservacionista, tem se tornado importante a busca por alternativas para redução de determinados obstáculos que ainda impedem uma maior utilização dessas fontes. No caso da geração fotovoltaica (FV) de energia, o alto custo e a baixa eficiência dos módulos constituem-se ainda barreiras que dificultam um maior crescimento dessa fonte de geração.

Como forma de tornar o uso de sistemas FV mais atrativo, uma alternativa consiste em melhorar a eficiência na geração de energia por meio do uso de seguimento solar, que promove ganhos energéticos com relativa simplicidade e baixos custos. Ao se fazer uso de seguimento solar em uma superfície de captação solar, como um módulo FV, esta superfície irá se movimentar acompanhando o movimento do Sol, fazendo com que os raios solares incidam de forma mais perpendicular na superfície e mais irradiação possa ser captada.

O seguimento do Sol pode ser feito principalmente de duas formas: movimentando a superfície em torno de 1 eixo, de modo a compensar variações na posição solar ao longo do dia de leste a oeste; ou movimentando a superfície em torno de 2 eixos, como forma de acompanhar tanto o deslocamento do Sol ao longo do dia na direção leste-oeste e na direção norte-sul, assim como o deslocamento ao longo do ano na direção norte-sul.

A movimentação da superfície para acompanhar o movimento do Sol de norte a sul ao longo do ano, é necessária devido à variação da declinação solar. Como forma de compensar esta variação ao longo do ano, poderia se fazer um ajuste da inclinação da superfície em relação ao plano horizontal para o período em análise.

De acordo com Nijegorodov *et al.* (1994), a melhor inclinação β_o para uma superfície de captação solar, de modo que esta receba a maior quantidade de radiação solar global, a cada mês, pode ser obtida por meio de expressões lineares com o valor da latitude local ϕ , com erros nas estimações de $\pm 3^\circ$. Para o mês de novembro, que corresponde ao período onde os experimentos foram realizados, a expressão é a mostrada na Eq. (1).

$$\beta_o = -0,93 * \phi - 24^\circ \quad (1)$$

Sendo a latitude da cidade de Fortaleza/CE igual a $-3,75^\circ$ (Maps of World, 2015), por meio da Eq. (1), encontra-se que o valor de β_o é igual a $-20,5^\circ$, onde o sinal negativo representa uma inclinação na direção sul.

No presente artigo desenvolveu-se, para um módulo FV na cidade de Fortaleza/CE, um sistema de seguimento de 1 eixo, com movimentação de leste a oeste, em que foi feito o ajuste da inclinação em relação à horizontal para o valor de $20,5^\circ$ na direção sul.

Outra alternativa para maximizar a geração de energia por um sistema FV consiste no uso de técnicas para se fazer o seguimento do ponto de potência máxima (MPPT - do inglês *Maximum Power Point Tracking*) do módulo FV.

Sabendo que os módulos FV apresentam grandes variações na potência elétrica gerada em função das condições meteorológicas e da carga a que estão conectados, ao se utilizar de circuitos que consigam alterar o ponto de operação do conjunto módulo-carga, poderá se estabelecer a máxima transferência de potência sob qualquer condição (Coelho, 2008).

Com isso, visando aumentar a geração de energia elétrica do módulo FV com seguimento solar, utilizou-se, em conjunto com o sistema de seguimento solar, um conversor cc-cc abaixador de tensão (*buck*) para se realizar o seguimento do ponto de potência máxima do módulo FV, por meio da técnica de perturbar e observar (P&O) baseada em um microcontrolador.

2. MATERIAS E MÉTODOS

Tanto o sistema de seguimento solar utilizado como o conversor *buck* para o MPPT foram desenvolvidos no Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). O fluxograma do sistema fotovoltaico completo é mostrado na Fig. 1. Para se verificar o ganho energético que o módulo FV com seguimento solar e com MPPT teria, utilizou-se um segundo módulo FV, idêntico ao primeiro, que estaria fixo e com uma inclinação em relação à horizontal igual a inclinação do módulo móvel.

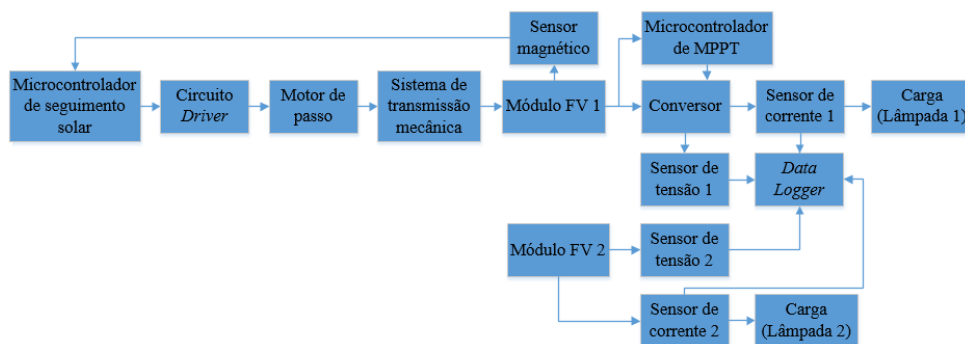


Figura 1 – Fluxograma do sistema fotovoltaico.

2.1 Sistema de seguimento solar

O sistema de seguimento solar pode ser dividido nos seguintes subsistemas: controle do movimento; mecanismo de movimentação; e aquisição e armazenamento de dados.

Controle do movimento.

Neste subsistema é feito o controle da movimentação do módulo FV. Os componentes utilizados foram: microcontrolador PIC18F2550 (Fig.2a); módulo RTC (do inglês *Real Time Clock*) DS 3231 (Fig.2b); sensor magnético do tipo *reed switch*, modelo ORD 211 (Fig.2c); circuito *driver* para acionamento do motor de passo (Fig. 2d); piranômetro de modelo LP02 (Fig. 2e).

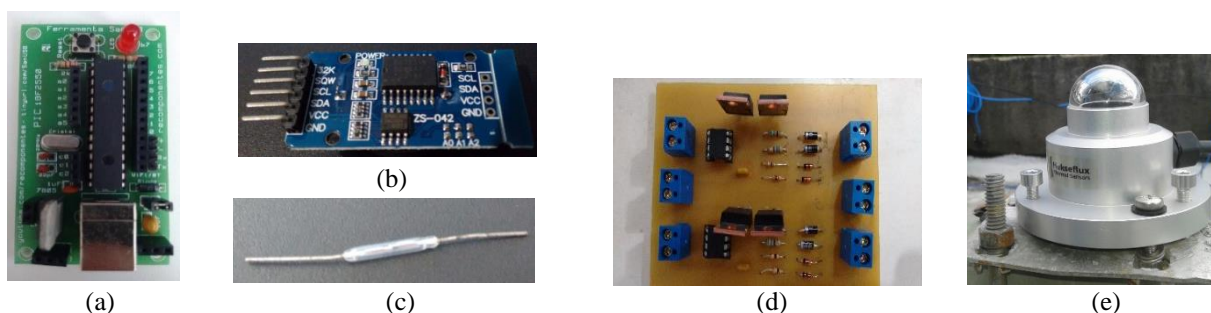


Figura 2 – (a) Microcontrolador; (b) Módulo RTC; (c) Sensor magnético; (d) Placa de circuito impresso do circuito *driver* para acionamento do motor; (e) Piranômetro.

Como unidade central de controle utilizou-se um microcontrolador, que apresenta como vantagens em relação a outros dispositivos utilizados para se fazer o controle do seguimento solar, como, por exemplo, um CLP (controlador lógico programável), o custo reduzido e o baixo consumo de energia elétrica, o que é importante quando se busca o aumento na geração de eletricidade.

Primeiramente definiu-se que o ângulo de seguimento seria de 80° , ou seja, definiu-se que o módulo FV deve girar 80° de leste a oeste do começo ao final do dia. Utilizou-se um sensor magnético para estabelecer a posição inicial que o módulo deve estar no começo do dia, de forma que quando o módulo esteja nessa posição inicial o sensor seja acionado por um ímã presente na extremidade da estrutura de suporte do módulo FV. Como o ângulo de seguimento foi definido

como 80° , a posição inicial do módulo deve ser a de inclinação de -40° , ou 40° na direção leste, em relação ao eixo de sustentação da estrutura de suporte do módulo.

Através da análise de valores de irradiância solar global medidos por meio de um piranômetro, instalado no teto do LEA, foi definido que o horário para o funcionamento do sistema de seguimento seria de 6 horas até as 17 horas, pois antes das 6 horas e após as 17 horas os valores de irradiância eram próximos a zero, para o mês de novembro.

Com isso, estabeleceu-se a seguinte lógica de movimentação para acompanhamento do Sol:

- Às 6 horas e estando o sensor magnético acionado, o sistema de seguimento inicia o seu funcionamento;
- A partir deste instante, a cada 20 minutos, o microcontrolador acionará o motor de passo, de modo que o mesmo gire o módulo fotovoltaico de $2,5^\circ$ em direção ao oeste;
- Às 17 horas o microcontrolador aciona o motor de passo para que o mesmo gire o módulo até a posição inicial para o começo de um novo dia, onde o sensor magnético será acionado;
- A partir deste instante, o módulo continua parado até as 6 horas do dia seguinte, quando se iniciará um novo ciclo.

O programa em linguagem C utilizado no microcontrolador foi desenvolvido com base na lógica de movimentação descrita. Para a programação do microcontrolador utilizou-se o *software* MPLABX-IDE com o compilador C18. Para realizar a interface entre o *software* e a placa do microcontrolador utilizou-se a ferramenta SanUSB (Jucá e Pereira, 2015).

Utilizou-se essa estratégia de seguimento empírico devido a sua simplicidade e pelo fato de que pequenos desvios na angulação do módulo em relação à posição do Sol não proporcionam grandes perdas na irradiação captada, fazendo com que não seja necessário o seguimento preciso e contínuo do Sol (Cooke, 2011).

Para que o microcontrolador acione o motor de passo precisamente nos horários estabelecidos utilizou-se um módulo RTC, que consegue fornecer com precisão horas, minutos e segundos para o microcontrolador.

O circuito *driver* para acionamento do motor, cujo esquemático é mostrado na Fig. 3 e a placa de circuito impresso confeccionada é representada na Fig. 2d, possui a função de proteger as saídas do microcontrolador e de fazer com que os sinais de saída do mesmo energizem as bobinas do motor de passo na sequência necessária.

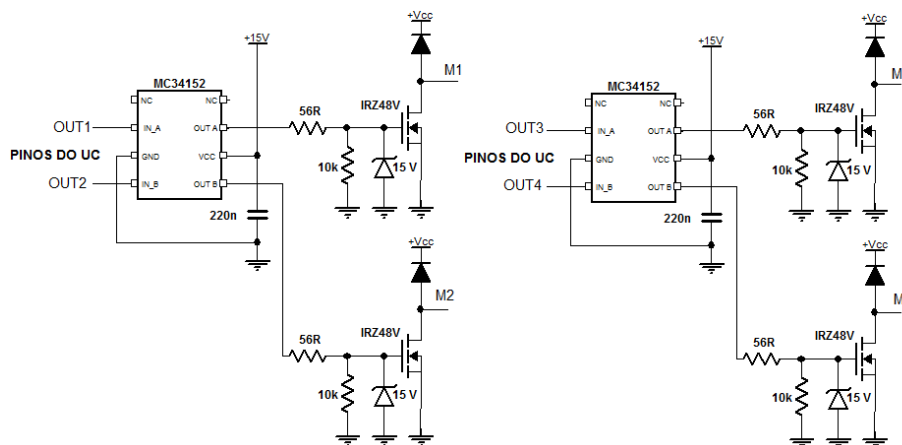


Figura 3 – Esquemático do circuito *driver* para acionamento do motor de passo.

Mecanismo de movimentação.

Este subsistema tem a função de promover a movimentação da estrutura de suporte do módulo FV de acordo com a movimentação do motor de passo. Foi utilizado um motor de passo, de modelo 4034-326, acoplado a um sistema de transmissão mecânica, constituído de uma correia, duas polias e duas engrenagens, conforme mostrado na Fig. 4a.



Figura 4 – (a) Motor de passo e sistema de transmissão mecânica; (b) Módulos FV utilizados.

Definiu-se que o motor a ser utilizado para a movimentação do módulo seria um motor de passo, pois verificou-se que o mesmo é adequado para este tipo de aplicação, já que pode fornecer a precisão necessária na movimentação, possui torque de médio para alto, custo reduzido e seu controle não é complexo (Alves, 2008). Para a energização das bobinas do motor foi utilizada a ligação unipolar, devido a sua simplicidade, podendo o circuito *driver* ser mais simples, e por ter apresentado um bom desempenho durante o funcionamento.

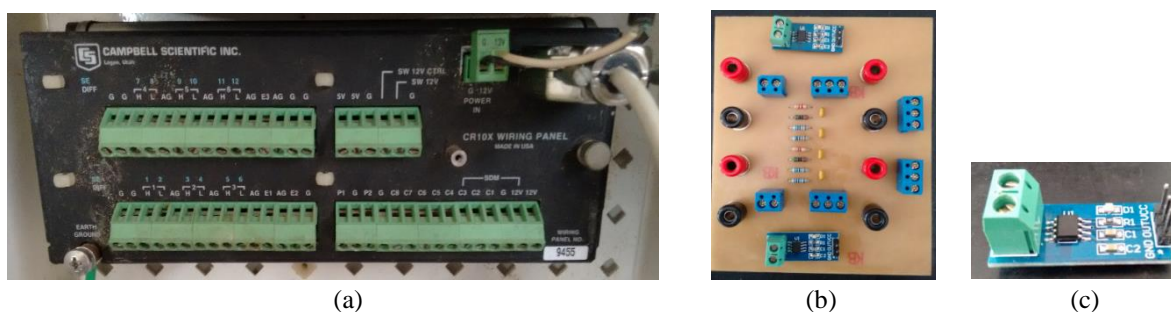
Os módulos FV utilizados, mostrados na Fig. 4b, são do modelo KC85T. As especificações dos módulos, para as condições de teste padrão, encontram-se na Tab. 1.

Tabela 1 – Especificações dos módulos KC85T.

Potência Máxima	87 W
Corrente de Potência Máxima	5,02 A
Tensão de Potência Máxima	17,4 V
Corrente de Curto-Circuito	5,34 A
Tensão de Circuito Aberto	21,7 V

Aquisição e armazenamento de dados.

Neste subsistema é feita a coleta e armazenamento dos valores de tensão e corrente fornecidos pelos dois módulos FV. O armazenamento dos valores medidos foi feito por um *data logger*, de modelo CR10X, que é mostrado na Fig. 5a. Para medição de corrente dos módulos FV utilizou-se dois sensores de corrente ACS 712-20, com ilustração na Fig. 5c.

Figura 5 – (a) *Data logger*; (b) Placa para condicionamento de sinais; (c) Sensor de corrente.

O *data logger* possui uma limitação de tensão nas suas entradas analógicas de 2,5 V. Devido a isso, para medição de tensão dos módulos projetou-se um circuito divisor resistivo para que os valores medidos nunca ultrapassassem 2,5 V. Desenvolveu-se outro circuito divisor resistivo para que os sinais de saída dos sensores de corrente, a serem armazenados no *data logger*, também estivessem dentro deste limite de 2,5 V. Na Fig. 5b é mostrada a placa de circuito impresso desenvolvida para realizar o condicionamento dos sinais, com os circuitos divisores resistivos necessários. Nesta placa também é feito o acionamento das cargas dos módulos, que no caso são duas lâmpadas de 12 V e 55 W.

A comunicação com o *data logger* é feita através de uma porta serial RS 232, por onde é feita a programação do mesmo e a transferência dos dados armazenados para um computador. O *data logger* está parametrizado para realizar coletas a cada 1 segundo e médias a cada 1 minuto.

2.2 Sistema para o seguimento do ponto de potência máxima

O esquemático do sistema de MPPT é mostrado na Fig. 6, em que o microcontrolador é o PIC18F2550 (Fig. 2a), o sensor de corrente é de modelo ACS712-20 (Fig. 5c), o driver para o MOSFET tem especificação A3120 e o diodo é de especificação MBR1535CT.

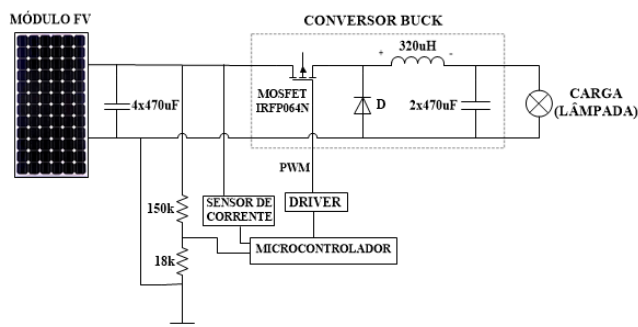


Figura 6 – Esquemático do sistema de MPPT.

A placa de circuito impresso desenvolvida do sistema para o MPPT é mostrada na Fig. 7.

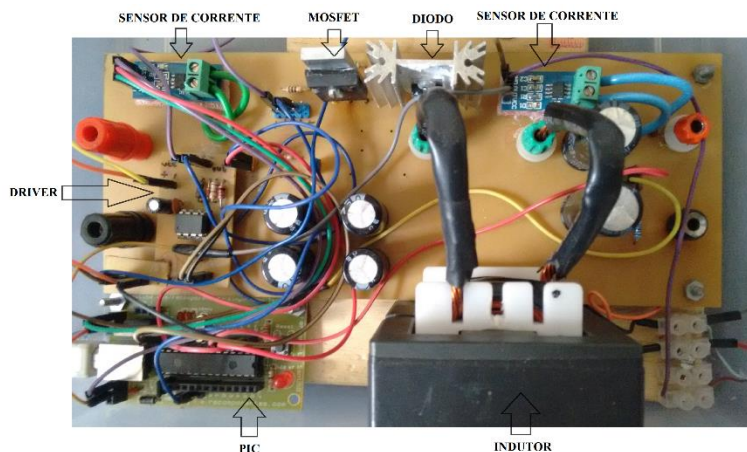


Figura 7 – Sistema de MPPT desenvolvido.

O microcontrolador atua sobre o conversor, de modo a realizar o MPPT segundo a estratégia de P&O, enviando sinais PWM (do inglês *Pulse Width Modulation*) para o MOSFET, de modo a alterar o ciclo de trabalho k do conversor e modificar a tensão de saída do mesmo $V_{saída}$, conforme a Eq. (2).

$$V_{saída} = k * V_{entrada} \quad (2)$$

Em que $V_{entrada}$ é a tensão na entrada do conversor, ou seja, a tensão de saída do módulo FV.

Estratégia para o MPPT.

Para se realizar o seguimento do ponto de máxima potência do módulo FV, utilizou-se o método P&O. Neste método, realiza-se constantes medições de tensão $V(n)$ e corrente do módulo, calcula-se a potência instantânea $P(n)$ do mesmo e compara-se esse valor com o valor anterior calculado de potência $P(n-1)$. Então muda-se a tensão de saída do conversor, alterando o ciclo de trabalho do mesmo, na direção que leve o módulo a operar no ponto de máxima potência (MPP – do inglês *Maximum Power Point*), em que $dP/dV = 0$, de acordo a seguinte lógica:

- Se $\Delta P = P(n) - P(n-1) = 0$, o sistema está operando no ponto de máxima potência e não se faz necessário alterar o ciclo de trabalho do conversor;
- Se $\Delta P > 0$ e $\Delta V = V(n) - V(n-1) > 0$, o ponto de operação está localizado à esquerda do MPP e o ciclo de trabalho tem de ser aumentado para se elevar a tensão de saída do conversor e se aproximar do MPP, como mostrado na Fig. 8;
- Se $\Delta P > 0$ e $\Delta V < 0$, o ponto de operação está localizado à direita do MPP e o ciclo de trabalho tem de ser reduzido para se reduzir a tensão de saída do conversor e se aproximar do MPP;
- Se $\Delta P < 0$ e $\Delta V < 0$, o ponto de operação está localizado à esquerda do MPP e o ciclo de trabalho tem de ser aumentado;
- Se $\Delta P < 0$ e $\Delta V > 0$, o ponto de operação está localizado à direita do MPP e o ciclo de trabalho tem de ser reduzido.

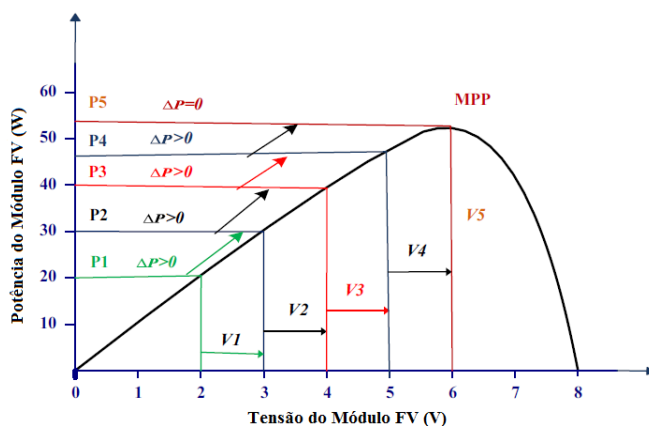


Figura 8 – Curva P-V para o método Perturbar e Observar. Fonte: Bathnagar e Nema, 2013 (adaptado).

Este método apresenta como vantagens o fato de ter simples execução e de não precisar das características do módulo FV. Porém, também possui desvantagens como o fato de ficar oscilando em torno do MPP, devido a perturbação de tensão

continuar quando o MPP for alcançado, e de ter uma menor eficiência sob rápidas alterações nas condições atmosféricas (Bathnagar e Nema, 2013). Quanto maior for o passo (tamanho da alteração do ciclo de trabalho do conversor a cada ciclo de medições), mais rápida será a resposta às rápidas alterações nas condições atmosféricas, porém maior também será a oscilação em torno do MPP. Com isso, por meio de testes, procurou-se encontrar um valor de passo ideal, de modo que as oscilações em torno do MPP não fossem consideráveis e a resposta às alterações nas condições atmosféricas não fosse tão lenta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Experimentos com o sistema de seguimento solar

Primeiramente, para verificar o ganho energético que o uso somente do sistema de seguimento solar poderia proporcionar, foram realizados dois experimentos, com o módulo FV somente com o sistema de seguimento e sem o conversor. O primeiro experimento foi em um dia ensolarado (19 de novembro de 2015) e o segundo em um dia nublado (21 de novembro de 2015).

Os valores de potência elétrica fornecidos pelo módulo FV com seguimento e pelo módulo fixo no dia ensolarado (Fig. 9a), onde, por meio do piranômetro, obteve-se uma irradiação diária de $6,91 \text{ kWh/m}^2$, e no dia nublado (Fig. 9b), em que a irradiação diária foi de $5,38 \text{ kWh/m}^2$, estão mostrados na Fig. 9.

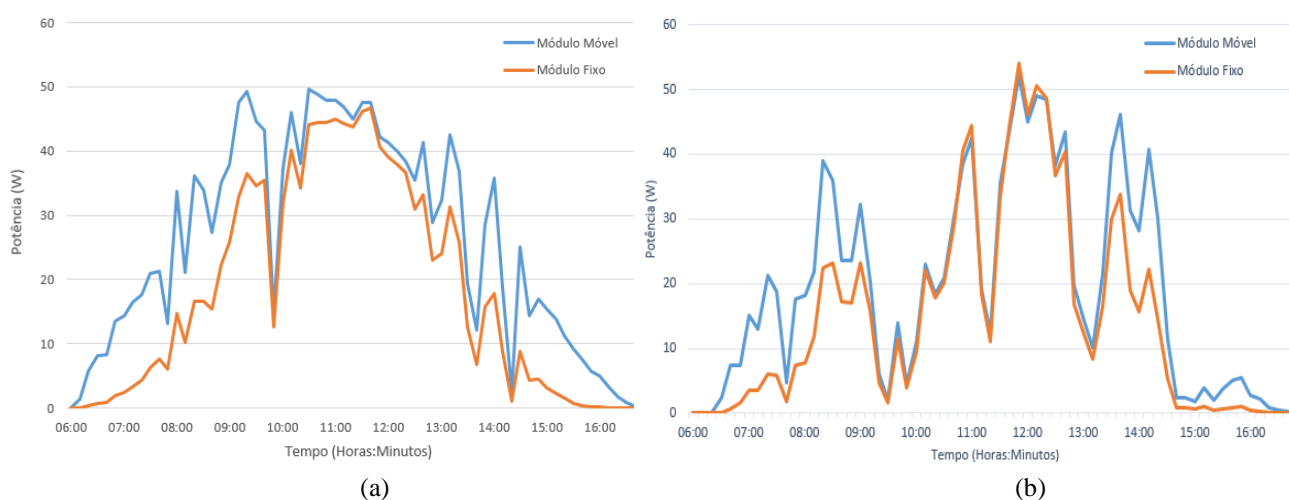


Figura 9 – Potência dos módulos FV ao longo do dia ensolarado (a) e no dia nublado (b).

A partir da Fig. 9a, pode-se ver que o módulo móvel obteve uma potência maior que a do módulo fixo durante quase todo o dia, com exceção de determinados períodos onde as potências sofreram uma queda acentuada devido ao surgimento de nuvens, o que fez com que prevalecesse a radiação difusa na radiação global e os ganhos com o seguimento fossem reduzidos, uma vez que o seguimento solar proporciona ganhos em relação à radiação direta.

A partir da Fig. 9b, pode-se ver que os ganhos do módulo móvel foram menores no dia nublado, como era esperado, já que, como anteriormente mencionado, nestes dias a presença da radiação difusa é maior.

O módulo móvel obteve maiores ganhos de potência, em comparação com o módulo fixo, especialmente nos períodos inicial e final dos dias, como esperado, uma vez que nestes períodos o ângulo de incidência dos raios solares em uma superfície fixa é maior.

A energia gerada, ao longo do dia ensolarado, do módulo móvel foi de $282,37 \text{ Wh}$ e a do módulo fixo foi de $197,34 \text{ Wh}$. Logo, o módulo com seguimento obteve um ganho médio de $43,04\%$ ao longo do dia, em relação ao módulo fixo. A energia gerada, ao longo do dia nublado, do módulo móvel foi de $207,57 \text{ Wh}$ e a do módulo fixo foi de $159,61 \text{ Wh}$. Com isso, o módulo com seguimento obteve um ganho médio de $30,05\%$ ao longo do dia, em relação ao módulo fixo.

Em trabalhos em que se fazia uso somente do seguimento solar, Alves (2008), na cidade de Botucatu/SP, desenvolveu um sistema de seguimento de 1 eixo com o ajuste diário da inclinação do módulo e obteve um ganho energético médio de $53,1\%$ ao longo de 6 meses. Oliveira (2008), na cidade de Porto Alegre/RS, obteve um ganho de 24% em um dia ensolarado com o uso de seguimento de 1 eixo. Babalola e Alabi (2012), na Nigéria, desenvolveram um sistema de seguimento de 1 eixo que forneceu um ganho energético médio de $45,46\%$ ao longo de 7 dias. Chin, Babu e McBride (2011), na Inglaterra, com um sistema de seguimento de 1 eixo obtiveram um ganho médio de 20% em um dia.

Vale ressaltar que os ganhos com o uso de seguimento solar variam conforme o local e a época do ano. Em locais e em épocas do ano onde é maior o número de horas de Sol por dia e onde há valores maiores de irradiação média diária, indicando uma grande presença da radiação direta, os ganhos obtidos com o seguimento serão maiores.

3.2 Experimentos com o sistema de seguimento solar em conjunto com o sistema para o MPPT

Para se verificar o ganho energético que o uso do sistema de seguimento solar em conjunto com o conversor para o MPPT poderia proporcionar, foram realizados dois experimentos. O primeiro experimento foi em um dia ensolarado (20 de novembro de 2015) e o segundo em um dia nublado (22 de novembro de 2015).

Os valores de potência elétrica fornecidos pelo módulo FV móvel e pelo módulo fixo no dia ensolarado (Fig. 10a), onde, por meio do piranômetro, obteve-se uma irradiação diária de 6,83 kWh/m², e no dia nublado (Fig. 10b), em que a irradiação diária foi de 4,52 kWh/m², estão mostrados na Fig. 10.

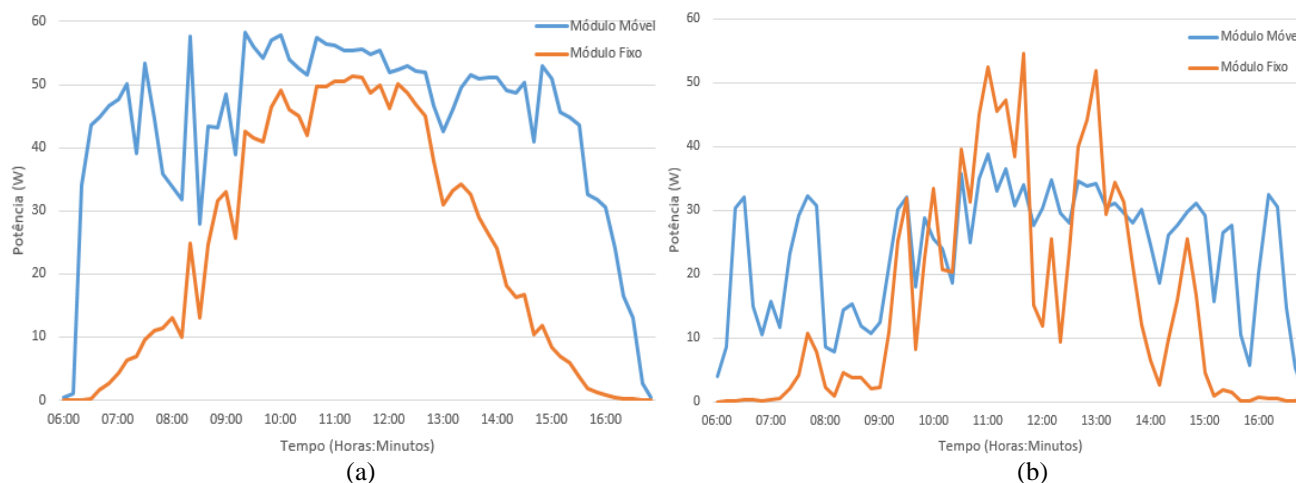


Figura 10 - Potência dos módulos FV ao longo do dia ensolarado (a) e no dia nublado (b).

A partir da Fig. 10a verifica-se que com o uso do MPPT em conjunto com o seguimento solar em um dia ensolarado, pode-se ter ganhos significativos na geração de energia elétrica pelo módulo FV, tendo valores consideráveis de potência elétrica desde o começo da manhã até o final da tarde, e tendo um ganho mesmo no período próximo ao meio-dia.

Já em um dia nublado, analisando a Fig. 10b, pode-se ver que no período próximo ao meio-dia o módulo móvel apresentou uma potência inferior ao módulo fixo. Isso ocorreu devido ao fato que, com o tempo instável, com grandes variações na irradiação solar ao longo do dia, a estratégia de MPPT não conseguiu atingir o MPP rapidamente, não conseguindo acompanhar essas rápidas variações no tempo. Porém, no restante do dia, mesmo com o tempo instável, o módulo móvel apresentou ganhos importantes sobre o módulo fixo.

A energia gerada, ao longo do dia ensolarado, do módulo móvel foi de 484,19 Wh e a do módulo fixo foi de 263,76 Wh. Logo, o módulo com seguimento solar e com MPPT obteve um ganho médio de 83,56% ao longo do dia, em relação ao módulo fixo. A energia gerada, ao longo do dia nublado, do módulo móvel foi de 263,36 Wh e a do módulo fixo foi de 169,63 Wh. Com isso, o módulo com seguimento solar e com MPPT obteve um ganho médio de 55,26% ao longo do dia, em relação ao módulo fixo.

Em trabalhos onde se fazia uso do seguimento solar em conjunto com o MPPT, Jaen *et al.* (2009) obtiveram um ganho energético de 51% ao longo de um dia, na Espanha, e Niasar *et al.* (2015) conseguiram obter um ganho superior a 40% no Irã.

4. CONCLUSÕES

No presente artigo foi desenvolvido um sistema de seguimento solar de 1 eixo para um módulo FV na cidade de Fortaleza/CE, em que foi ajustada a inclinação do módulo em relação a horizontal para um valor que traria uma maior captação da radiação solar ao longo do mês analisado. Em conjunto com o sistema de seguimento, utilizou-se um conversor cc-cc abaixador de tensão, *buck*, com o ciclo de trabalho ajustado por um microcontrolador, para se fazer o seguimento do ponto de potência máxima do módulo FV através da técnica de P&O.

Primeiramente, realizando experimentos com o módulo FV somente com o sistema de seguimento solar, foram medidos os ganhos de energia elétrica gerada do módulo móvel em relação a um outro módulo FV idêntico fixo. Os ganhos foram de 43,04% em um dia ensolarado e 30,05% em um dia nublado, o que mostrou que o uso somente do seguimento solar já fornece ganhos importantes.

Posteriormente, realizou-se experimentos com o sistema de seguimento solar em conjunto com o conversor *buck* para o MPPT e obteve-se um ganho energético de 83,56% em um dia ensolarado e 55,26% em um dia nublado, o que comprovou a eficácia do uso combinado das duas estratégias no aumento da eficiência do sistema FV.

Com os resultados obtidos, pode-se ver o que uso de seguimento solar em conjunto com MPPT é uma estratégia importante para aumentar a eficiência de um sistema FV, vindo que mesmo se fazendo o seguimento solar com uma estratégia de movimentação simples e se fazendo o MPPT com uma técnica que apresenta simplicidade na sua implementação, se conseguiu obter ganhos significativos na energia elétrica gerada.

REFERÊNCIAS

- Alves, Alceu Ferreira. Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu - SP, 2008.
- Applied Motion. 4034 NEMA 34 *Step Motor*. Disponível em: <<http://www.applied-motion.com/products/stepper-motors/4034-326>>. Acesso em: 19 out. 2015.
- Babalola, O. A.; Alabi, A. B. 2012. *Low cost dual axis automated sunlight tracker design for optimized PV cell power yield*. Centrepoint journal, v. 18, p. 19-36.
- Bhatnagar, Pallavee, e R K Nema, 2013. *Maximum power point tracking control techniques: State-of-the-art in photovoltaic applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 23, p. 224–41.
- Chin, C. S.; Babu, A.; McBride, W.; 2011. *Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink*. Renewable Energy, v. 36, p. 3075-3090.
- Coelho, Roberto Francisco; 2008. Estudo dos conversores *Buck* e *Boost* aplicados ao rastreamento de máxima potência de sistemas solares fotovoltaicos. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC.
- Cooke, David. *Single vs. Dual Axis Solar Tracking*. Alternate Energy eMagazine, 2011.
- Jaen, C.; Pou, J.; Capella, G.; Arias, A.; Lamich, M. 2009. *On the use of sun trackers to improve maximum power point tracking controllers applied to photovoltaic systems*. Compatibility and Power Electronics – CPE 2009, p. 67–72.
- Jucá, Sandro C.S., Pereira, Renata I.S. Ferramenta SanUSB, Grupo SanUSB, 2015. Disponível em: <<http://tinyurl.com/SanUSB>>. Acesso em: 12 out. 2015.
- Maps of World. *Brazil Latitude and Longitude Map*. Disponível em: <http://www.mapsofworld.com/lat_long/brazil-lat-long.html>. Acesso em: 6 out. 2015.
- Niasar, A. H.; Zare, Z.; Far, F. R. 2015. *A low cost P&O based maximum power point tracking, combined with two-degree sun tracker*. Power Electronics, Drives Systems & Technologies Conference (PEDSTC), 2015 6th, p. 119–124.
- Nijegorodov, N.; Devan, K. R. S.; Jain, P. K.; Carlsson, S. *Atmospheric transmittance models and an analytical method to predict the optimum slope of an absorber plate, variously oriented at any latitude*. Renewable Energy, v. 4, p. 529 - 543, 1994.
- Oliveira, Maurício Madeira. Análise do desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- Rocha Filho, José Itanor do Couto; 2013. Potencial para uso de seguimento solar em sistemas fotovoltaicos: estudo de caso para Fortaleza/CE. Monografia (Graduação em engenharia elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE.

SOLAR TRACKING SYSTEM WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract. *Aiming to motivate the use of photovoltaic (PV) technology, it becomes increasingly important to use alternatives to increase the efficiency of PV systems. Among these alternatives is the use of solar tracking, which causes that more sunlight can be captured, by making the surface of solar capture moves in order to follow the movement of the Sun. Another alternative is the use of techniques to track the maximum power point of the photovoltaic module in order to extract the maximum power available according to the solar radiation and the temperature varies throughout the day. In this paper is presented a solar tracking system of one axis, which operates in conjunction with a dc-dc converter which, by means of the technique Perturb and Observe (P & O), performs the maximum power point tracking (MPPT) of a PV module. The tracking system and the converter have been developed in the Laboratory of Alternative Energies of the Federal University of Ceará (LEA - UFC) to the weather conditions found in the city of Fortaleza / CE. Experiments were done on a sunny day and on a cloudy day. It was found that the energy gains from the PV module with solar tracking and with MPPT in relation to a fixed module were 83.56% on the sunny day and 55.26% on the cloudy day.*

Keywords: *Solar tracking, Maximum power point tracking, Photovoltaic systems.*