

Avaliação do impacto de fatores externos no desempenho de placas solares fotovoltaicas

Evaluation of the impact of external factors on the performance of photovoltaic solar panels

RESUMO

Lucas Bozzo Balsalobre
lbalsalobre@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Apucarana, Paraná, Brasil

Leonardo Bruno Garcia Campanhol
campanhol@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Apucarana, Paraná, Brasil

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a redução da energia elétrica gerada em sistemas fotovoltaicos devido à presença de sombreamentos e acúmulo de sujeiras em placas solares. Tais fatores podem causar uma anormalidade ao regime de trabalho dos sistemas fotovoltaicos, resultando na redução do nível de energia elétrica gerada pelos mesmos. Através de simulações computacionais, embasadas em modelos matemáticos e em estudos já realizados, considerando um ambiente real de funcionamento sob condições adversas, são realizados levantamentos das curvas características de corrente e potência de arranjos fotovoltaicos. A partir de tais dados, é possível avaliar os principais fatores que impactam na redução de energia gerada em sistemas fotovoltaicos. Uma vez conhecidos tais fatores, é possível definir possíveis ações a serem tomadas a fim de se obter a máxima conversão de energia em sistemas fotovoltaicos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas fotovoltaicos. Sombreamento. Acúmulo de sujeiras.

ABSTRACT

The objective of this paper is to evaluate the reduction of electrical energy generated in photovoltaic systems due to the presence of shading and accumulation of dirt in solar panels. Such factors are responsible for generating an abnormality in the functioning of these systems and, at the same time, the decrease in the electric energy conversion efficiency. Through computer simulations, based on mathematical models and previous studies, added to field tests in a real operating environment and in simulated adverse conditions to which the systems are susceptible, a survey of the obtained data is performed. In their possession, it is possible to keep in mind the reasons for a possible drop in the amount of electrical energy generated by the photovoltaic systems. Once such factors are known, it is possible to define possible actions to be taken in order to obtain the maximum energy conversion in photovoltaic systems.

KEYWORDS: Photovoltaic systems. Shading. Accumulation of dirt.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Em âmbito mundial, a crescente demanda de energia elétrica por consumidores residenciais, comerciais e industriais tem solicitado uma expansão dos setores de geração de energia elétrica. Tradicionalmente, a geração da energia elétrica é realizada por meio de processos que utilizam combustíveis fósseis e minerais, energia nuclear, recursos hídricos, dentre outros. Entretanto, tais processos podem causar sérios impactos ao meio ambiente (NEHRIR et al., 2011). Como exemplo, os processos que envolvem a queima de combustíveis emitem uma grande quantidade de poluentes no meio ambiente. Há também os riscos de desastres nos sistemas de geração nuclear, bem como os grandes impactos ambientais relacionados às usinas hidroelétricas (EIA, 2016).

Com o aumento significativo de discussões a respeito de questões ambientais e sustentabilidade, tem surgido uma nova tendência no cenário da geração de energia elétrica, fazendo uso de fontes alternativas de energia que sejam renováveis e que causem menor impacto ambiental, quando comparadas às fontes tradicionais de energia. Segundo dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia, referente ao ano de 2017, as energias solar e eólica corresponderam a cerca de 6,9% da matriz elétrica brasileira contra 65,2% da energia hidráulica. Há diversos tipos de fontes alternativas e renováveis de geração de energia elétrica, tais como biomassa, eólica, a energia dos oceanos e a solar (REN21, 2016).

Dentre tais fontes, a solar é uma fonte de energia de grande potencial. Acredita-se que a energia solar incidente sobre a superfície da terra seja da ordem de dez mil vezes maior do que o consumo energético mundial (REN21, 2016). O Brasil possui excelentes níveis de irradiação solar, superiores aos encontrados em alguns países que se destacam mundialmente no aproveitamento desta energia, como exemplo a Alemanha. Isto possibilitaria ao Brasil uma colocação de destaque mundial quanto a utilização desta fonte de energia renovável. A energia solar pode ser aproveitada por meio da utilização de painéis fotovoltaicos (PV - *Photovoltaic*) (EIA, 2016; NEHRIR et al., 2011).

A energia proveniente de painéis PV é fornecida em corrente contínua (CC). Para que esta energia seja diretamente injetada na rede elétrica em corrente alternada (CA), faz-se necessário a utilização de um adequado estágio de condicionamento de energia, de modo a realizar a conversão de CC para CA. Normalmente, esta conversão é realizada utilizando conversores estáticos de potência CC/CC e/ou CC/CA. O conversor CC/CC é empregado tanto para elevar a tensão obtida nos terminais de saída do arranjo PV quanto para extrair a máxima potência ativa gerada pelo mesmo, enquanto que o conversor CC/CA é empregado para realizar a injeção desta energia na rede elétrica (CAMPANHOL et al., 2017; KJAER et al., 2005; ROCABERT et al., 2012).

Normalmente, os arranjos PV são formados por um conjunto de painéis conectados em séries, as chamadas *strings*, de modo a obter níveis de tensão adequados para conexão do arranjo PV ao barramento CC dos conversores de potência. Entretanto, nesse tipo de conexão, os painéis podem receber irradiação solar de maneira não uniforme, tornando o sistema mais suscetível à ocorrência de sombreamento parcial. Isso faz com que toda a estrutura de arranjo PV fique

limitada a níveis mais baixos de potência, resultando em grandes perdas energéticas (OLIVEIRA, 2015).

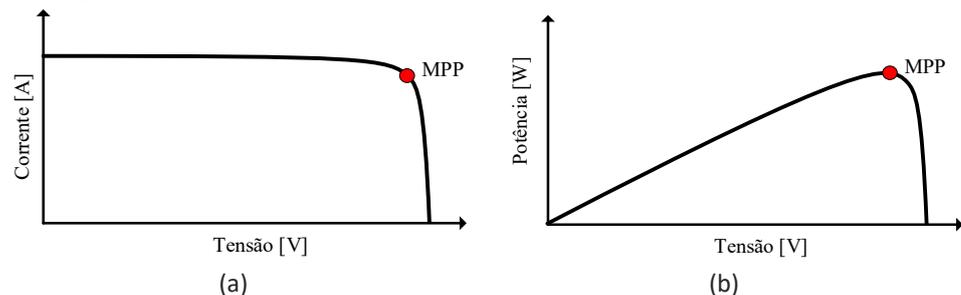
Além dos problemas relacionados à sombreamentos, outros fatores externos podem também influenciar negativamente nos níveis de potência gerados em sistemas PV. Como exemplo, o acúmulo de sujeira na superfície das placas solares PV, sendo este um fator muito importante a ser investigado e considerado em projetos dessa natureza. Existem vários fatores que podem ocasionar o acúmulo de sujeira em placas PV, como exemplo poeira, lama, folhas, fezes ornitológicas, dentre outros tipos de materiais que possam impedir a passagem dos raios solares até as células das placas. Tais elementos, com o passar do tempo, formam uma camada sobre a superfície das placas, resultando também em grandes perdas energéticas (HICKEL, 2017; BARBOSA et al., 2018). Portanto, é evidente a importância da realização de estudos e pesquisas relacionados não somente às questões sobre sombreamentos, mas também sobre as questões relacionadas ao acúmulo de sujeiras em sistemas PV, pois são temas de interesse tanto econômico quanto técnico e científico.

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como tema de estudo a geração de energia elétrica utilizando placas solares PV. O foco principal é investigar fatores que influenciam negativamente na geração de energia elétrica em sistemas PV, mais especificamente sombreamentos total/parcial e/ou acúmulo de sujeiras em arranjos PV, e avaliar o impacto de tais fatores na redução da energia elétrica gerada nestes sistemas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O painel solar é um dispositivo formado por um conjunto de células fotovoltaicas, as quais geram energia através da luz do sol. As principais características elétricas de uma placa solar são: potência máxima (P_{max}), tensão de circuito aberto (V_{oc}); corrente de curto-circuito (I_{sc}); tensão do ponto de potência máximo (V_{mpp}); corrente no ponto de potência máximo (I_{mpp}). Normalmente, tais parâmetros são informados pelos fabricantes de painéis solares, considerando condições de teste padrão (STC - *Standard Test Conditions*) (SOLAR WORLD, 2020). Nas figuras 1(a) e 1(b) são mostradas as curvas características de uma placa solar, curva de corrente por tensão (curva I-V) na figura 1(a), e potência por tensão (P-V) na figura 1(b). Nestas figuras, a sigla MPP (*Maximum Power Point*) representa o ponto de operação em máxima potência do painel solar (OLIVEIRA, 2015).

Figura 1 – Curvas características de uma placa PV: (a) curva I-V; (b) curva P-V.



Fonte: (OLIVEIRA, 2015).

A irradiação solar incidente sobre uma placa solar influencia diretamente no nível de corrente que a mesma fornece. Quanto maior o nível da irradiação solar, maior a corrente a ser fornecida pela placa. Por outro lado, diferentes valores de temperatura ambiente alteram a tensão de operação da placa solar.

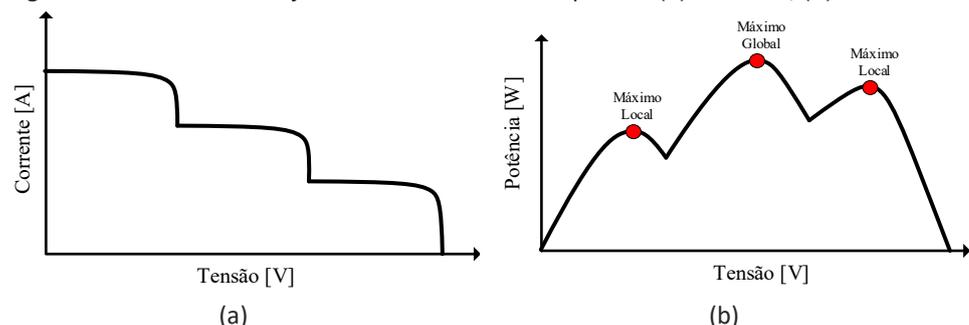
Em sistemas PV, as placas solares podem ser associadas em série ou paralelo, formando um arranjo PV. Quando as placas solares são associadas em série, formando uma *string*, obtêm-se um maior nível de tensão nos terminais de saída do arranjo PV. Entretanto, na ocorrência de sombreamento parcial, o painel sobre o qual incide a menor irradiação solar limita a corrente total de operação dos demais painéis (OLIVEIRA, 2015).

Para a conexão em paralelo, obtêm-se o aumento da corrente total a ser fornecida pelo arranjo PV. Esse tipo de associação é normalmente implementada em conjunto com conversores CC/CC, utilizados para elevar a tensão total do arranjo PV. Por se tratarem de fontes conectadas em paralelo, pode haver a circulação de correntes reversas entre as placas perante a ocorrência de sombreamento parcial. Neste caso, faz-se necessária a utilização de diodos de potência em série com cada *string* solar de modo que essa circulação de corrente seja evitado. Entretanto, quando comparado com a associação série, a ocorrência de sombreamento parcial não interfere tão significativamente nesse tipo de associação (OLIVEIRA, 2015).

Sombreamento em arranjos fotovoltaicos. Quando há a ocorrência de sombreamento sobre um arranjo PV, a curva característica I-V e P-V modifica-se devido à dependência do sistema com relação à irradiação solar e a temperatura. Desta forma, em um mesmo arranjo PV podem existir diferentes pontos de irradiação solar e temperatura (OLIVEIRA, 2015). Como exemplo, sombreamentos parciais podem ocorrer em *strings* instaladas em meios urbanos, onde o sombreamento parcial pode ser ocasionado por prédios, torres, estruturas, os quais se interpõem a irradiação solar. Sombreamentos parciais em *strings* podem ocorrer também por presença de nuvens, ou até mesmo pelo posicionamento dos painéis PV no ato da instalação.

Considerando como exemplo um arranjo PV com três painéis em série, parcialmente sombreado, obtêm-se três pontos com diferentes níveis de irradiação solar. Para este tipo de caso, a figura 2(a) mostra o comportamento da corrente em função da tensão (curva I-V) do arranjo PV perante essa diferença de radiação solar, enquanto que a figura 2(b) mostra a potência em relação à tensão (curva P-V) (OLIVEIRA, 2015).

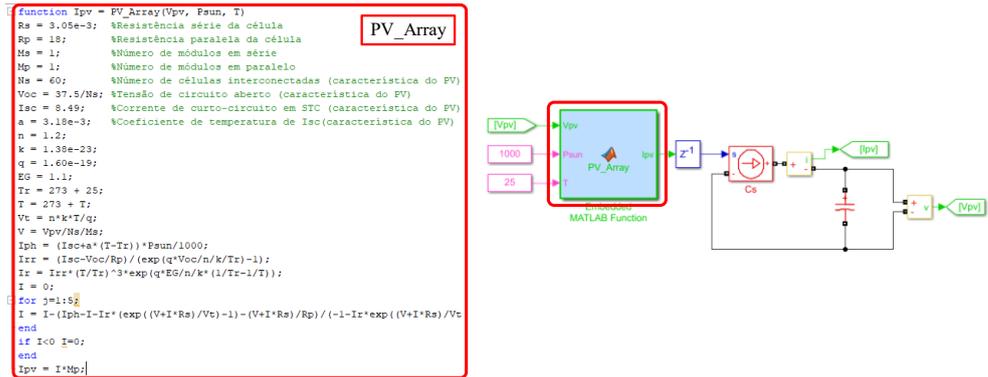
Figura 2 – Curvas do arranjo PV sob sombreamento parcial: (a) curva I-V; (b) curva P-V.



Fonte: (OLIVEIRA, 2015).

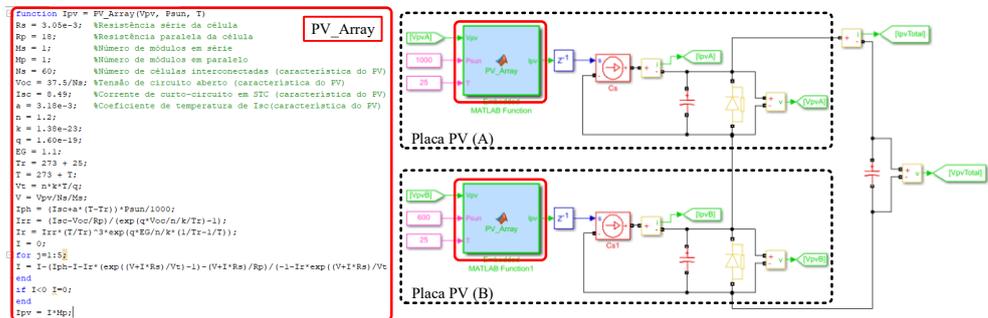
Sistema PV implementado via simulação computacional. O circuito equivalente de um arranjo PV foi implementado por meio de simulação computacional (CASARO et al., 2008) via *software* Matlab. Na figura 3 é mostrado o sistema implementado para realizar a simulação de uma única placa PV, enquanto que na figura 4 é mostrado o sistema implementado para realizar a simulação de um arranjo PV formado por duas placas conectadas em série.

Figura 3 – Simulação de um sistema PV com uma única placa.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4 – Simulação de um sistema PV de duas placas com conexão série



Fonte: Próprio autor.

As simulações foram realizadas tendo como referência a placa PV modelo *Sunmodule SW 245* (SOLAR WORD, 2020). Na tabela 1 são apresentados os principais dados deste painel para STC.

Tabela 1 – Principais dados da placa SW 245 em STC.

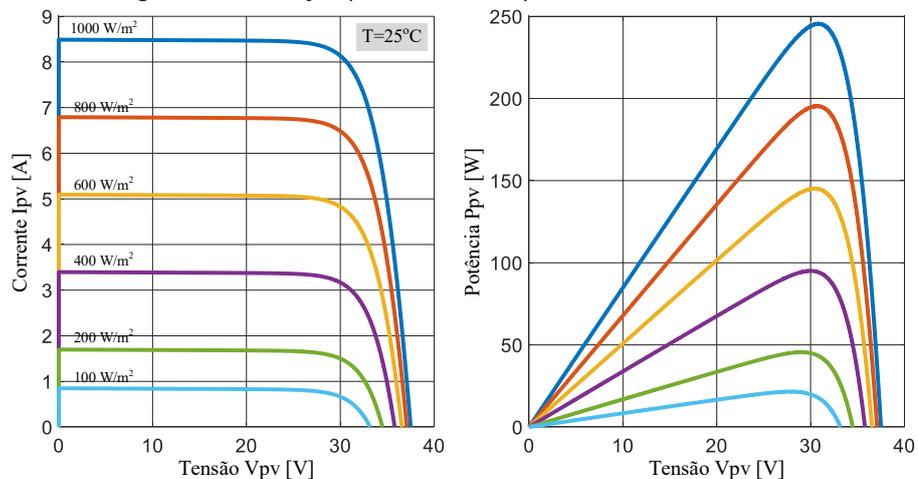
Grandezas	Valores
Potência máxima	$P_{max} = 245W$
Tensão de circuito aberto	$V_{oc} = 37,5V$
Tensão no ponto de máxima potência	$V_{mpp} = 30,8V$
Corrente de curto-circuito	$I_{sc} = 8,49A$
Corrente no ponto de máxima potência	$I_{mpp} = 7,96A$

Fonte: (SOLAR WORLD, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 5 são mostrados os resultados obtidos para a simulação do circuito considerando apenas uma única placa PV SW-245 (sistema mostrado na figura 3), sendo apresentadas as curvas de corrente por tensão (I-V) e potência por tensão (P-V) para diferentes níveis de irradiação solar (G). Verifica-se que as curvas I-V obtidas apresentam características idênticas às curvas apresentadas no *datasheet* da placa SW-245, comprovando o adequado funcionamento das simulações realizadas. Além disso, é possível comprovar que quanto menor a intensidade de irradiação solar, menor será a corrente fornecida pela mesma.

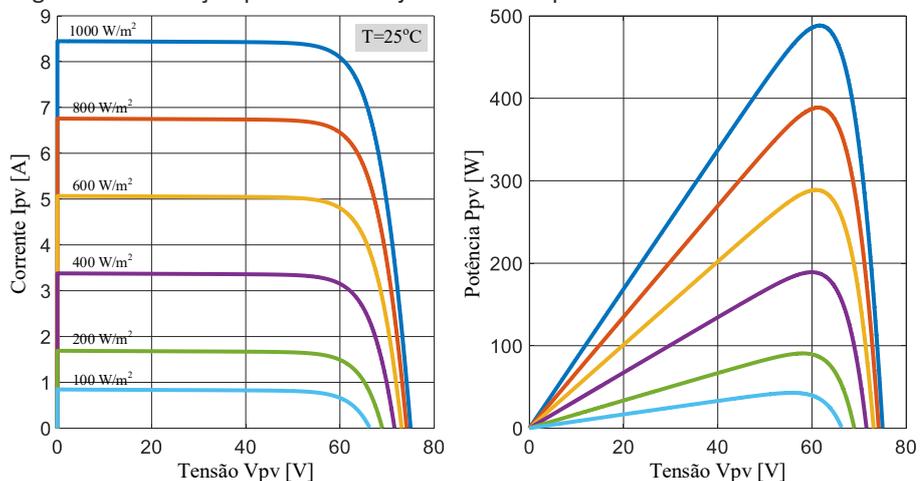
Figura 5 – Simulação para uma única placa PV: Curvas I-V e P-V.



Fonte: Próprio autor.

Na figura 6 são mostradas os resultados obtidos para a simulação de um arranjo PV formado por duas placas conectadas em série (sistema mostrado na figura 4), considerando níveis idênticos de irradiação solar para ambas as placas, ou seja, $G_{pvA}=G_{pvB}$. Neste caso, não há ocorrência de sombreamento parcial. Por se tratar de uma conexão série, comparando com resultados mostrados na figura 5, verifica-se que tanto a tensão quanto a potência fornecidas pelo arranjo PV dobram, característica natural em uma conexão série de dois painéis PV. Por outro lado, como esperado, os níveis de corrente permanecem os mesmos.

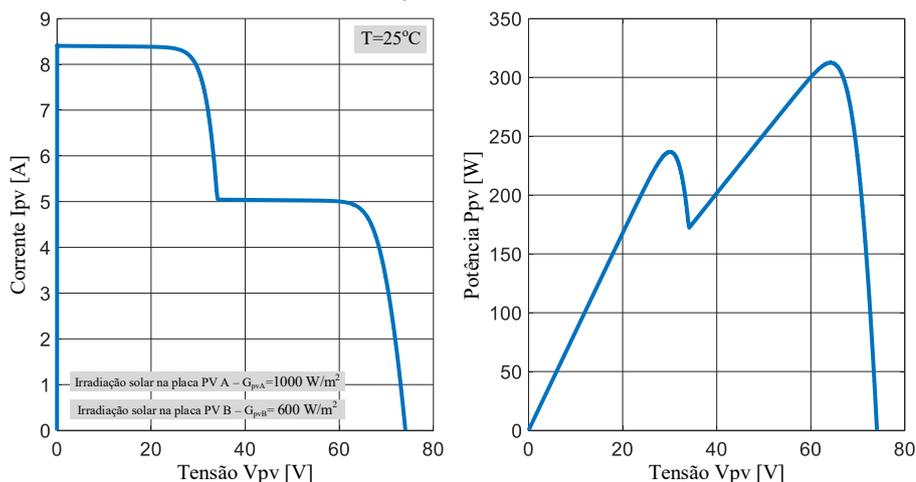
Figura 6 – Simulação para um arranjo PV de duas placas em série: Curvas I-V e P-V.



Fonte: Próprio autor.

Na figura 7 são mostradas os resultados obtidos para a simulação do arranjo PV de duas placas em série (sistema mostrado na figura 4), porém, considerando níveis diferentes de irradiação solar ($G_{pvA} = 1000\text{W/m}^2$ e $G_{pvB}=600\text{W/m}^2$). Neste caso, há sombreamento em uma das placas do arranjo. Verifica-se que o sistema passa a apresentar um ponto de máximo local (ponto de menor potência) e um outro ponto de máximo global (ponto de maior potência), como já era esperado.

Figura 7 – Simulação do arranjo PV de duas placas em série considerando sombreamento em uma das placas: Curvas I-V e P-V.



Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo sobre sistemas de geração de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos. Um breve estudo sobre sistema fotovoltaicos foi apresentado, sendo descritas as principais características da placa solar e respectivas curvas de Corrente por Tensão e Potência por Tensão. Também foram discutidos as formas de associação de painéis para formação de arranjos fotovoltaicos, bem como os impactos decorrentes de sombreamentos em *strings*.

Pelo modelo da célula fotovoltaica, foi possível implementar via *software* o modelo equivalente de uma arranjo fotovoltaico. A partir dos ensaios realizados via simulação, foram levantadas as curvas I-V e P-V para diferentes níveis de irradiação solar, bem como para a ocorrência de sombreamento parcial. Todos os resultados obtidos apresentaram total coerência em relação aos conceitos estudados, comprovando o adequado funcionamento do sistema simulado.

A partir dos resultados obtidos, foi possível confirmar a influência que sombreamentos podem causar em termos de redução da potência gerada em sistemas fotovoltaicos. Neste caso, a extração da máxima potência de um arranjo fotovoltaico pode ser comprometida a um nível de menor potência, sendo algo indesejado em um sistema dessa natureza.

Devido às limitações ocasionadas pela pandemia de Covid-19, não foram possíveis a realização dos ensaios experimentais previstos, os quais seriam realizados utilizando modelos comerciais de placas fotovoltaicas, submetidas à condições reais de sombreamentos bem como à condições de acúmulos de sujeiras. Entretanto, assim que as atividades presenciais na UTFPR retornarem à normalidade, tais ensaios experimentais serão adequadamente realizados.

REFERÊNCIAS

CAMPANHOL, L. B. G.; SILVA, S. A. O.; OLIVEIRA, A. A.; BACON, V. D. Dynamic Performance Improvement of a Grid-Tied PV System Using a Feed-Forward Control Loop Acting on the NPC Inverter Currents. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 3, pp. 2092-2101, March 2017.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. Modelo de Arranjo Fotovoltaico Destinado a Análises em Eletrônica de Potência via Simulação. Eletrônica de Potência, vol. 13, no. 3, pp. 141-146, Agosto 2008.

EIA. International Energy Outlook 2016. U. S. Energy Information and Administration - EIA 2016.

KJAER, S. B.; PEDERSEN, J. K.; BLAABJERG, F. A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 41, no. 5, p. 1292-1306, 2005.

NEHRIR, M. H. et al. A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: configurations, control, and applications. IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 2, no. 4, pp. 392-403, Oct. 2011.

OLIVEIRA, F. M. Rastreamento da máxima potência em arranjos fotovoltaicos sob efeito de sombreamento parcial baseado no método de otimização por enxame de partículas. 2015. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, PR.

REN21. Renewables 2016 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for 21st Century. 2016.

ROCABERT, J.; LUNA, A.; BLAABJERG, F.; RODRÍGUEZ, P. Control of Power Converters in AC Microgrids. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 27, no. 11, pp. 4734-4749, Nov. 2012.

SOLAR WORLD, Sunmodule - SW 245 poly / Version 2.5 Frame. Disponível em: <https://powerupco.com/site/wp-content/files/Solar%20Modules/SolarWorld/Sunmodule%20Plus%20245W%20Poly.pdf>. Acessado em 10 de julho de 2020.

HICKEL, B. M. O impacto no desempenho de sistemas fotovoltaicos causado pelo acúmulo de sujeira sobre os módulos FV – metodologia e avaliação através de curvas IxV em campo. 2017. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, SC.

BARBOSA, E. R.; FARIA, M. S. F.; GONTIJO, F. B. Influência da sujeira na geração fotovoltaica. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado-RS. 2018.