



# ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA REGIÃO SUL DE GOIÁS: ESTUDO DE CASO NO IFG – CAMPUS ITUMBIARA

M.V.S. Candine<sup>1</sup>, S.B. Silva\*<sup>1</sup>, O.C.N. Souto<sup>1</sup>, W.M. Leão<sup>1</sup> e B.G.G.L.Z. Vicente<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NupSOL - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG/Itumbiara

**Resumo** - O artigo apresenta uma análise inicial dos resultados obtidos para os índices de perda de produtividade em geradores fotovoltaicos devido ao acúmulo de sujeira. O objetivo do trabalho é o de quantificar as perdas de produtividade de energia de um sistema fotovoltaico conectado à rede devido a sujidade acumulada nos módulos na região urbana do sul do estado de Goiás, a qual apresenta alto índice de partículas de sujeira ocasionadas pela intensa atividade agrícola local. Para tal, os dados experimentais foram obtidos através da limpeza e monitoramento em dois subsistemas fotovoltaicos de 21,6 kWp cada, instalados no Instituto Federal de Goiás - Campus Itumbiara, ambos com as mesmas características técnicas.

**Palavras-Chave** - Geração Distribuída; Desempenho; Sistemas Fotovoltaicos; Sujeria.

## ANALYSIS OF PERFORMANCE OF PV SYSTEMS, CONSIDERING THE SOILING IN SOUTHERN REGION OF GOIÁS: A CASE STUDY AT IFG - ITUMBIARA CAMPUS

**Abstract** - The paper presents an initial analysis of the results obtained for the indices of loss of productivity in photovoltaic generators due to the accumulation of dirt. The objective of this work is to quantify the energy productivity losses of a photovoltaic system due to accumulated dirt in the modules in the urban region of southern Goiás, which has a high index of dirt particles caused by the intense local agricultural activity. For this, the experimental data were obtained by cleaning and monitoring two photovoltaic subsystems of 21,6 kWp each, installed in the Federal Institute of Goiás - Campus Itumbiara, both with the same technical characteristics.

**Keywords** - Distributed Generation; Performance; Photovoltaic Systems; Soiling.

### I. INTRODUÇÃO

O mercado de energia solar fotovoltaica quebrou vários recordes em 2017, com a expansão global de aproximadamente

100GW de potência instalada. Grande parte desse crescimento se deve principalmente ao mercado asiático, com destaque para a China com uma capacidade instalada da ordem de 53 GW somente no ano de 2017 um crescimento da ordem de 50% em relação a 2016 [1]. Os investimentos em sistemas fotovoltaicos tem crescido igualmente em todo mundo, em 2017 o total de investimento global com energia solar chegou a US\$160,8 bilhões, correspondendo a um aumento de 38% da capacidade instalada no mundo inteiro [1].

O território brasileiro tem elevados índices de irradiação, com potencial solar fotovoltaico e produtividade estimada média superior à de países europeus como Alemanha e Itália. Apesar do grande potencial de radiação solar disponível no país, a participação das usinas fotovoltaicas é de menos que 1% na matriz energética. No Brasil, segundo dados registrados no Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL, até junho de 2018, cerca de 60% da energia elétrica foi gerada por grandes centrais hidrelétricas [2].

O Brasil se encontra entre os 10 países que mais investiram nesta tecnologia em 2017 como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Potencial Instalado de Energia Fotovoltaica no mundo. [1].

1		China	53 GW	1		China	131 GW
2		USA	10,6 GW	2		USA	51 GW
3		India	9,1 GW	3		Japan	49 GW
4		Japan	7 GW	4		Germany	42 GW
5		Turkey	2,6 GW	5		Italy	19,7 GW
6		Germany	1,8 GW	6		India	18,3 GW
7		Australia	1,25 GW	7		UK	12,7 GW
8		Korea	1,2 GW	8		France	8 GW
9		UK	0,9 GW	9		Australia	7,2 GW
10		Brazil	0,9 GW	10		Spain	5,6 GW

A razão principal desse crescimento é graças aos primeiros leilões de energia realizados pelo governo federal para contratar usinas fotovoltaica, em 2014 e 2015, bem como à redução do custo dos sistemas fotovoltaicos ocorridos nos últimos anos. A Tabela I mostra a matriz energética nacional até junho de 2018.

A capacidade instalada de micro e minigeração solar fotovoltaica é da ordem de 309 MW. São mais de 32 mil unidades que incluem consumidores residenciais, comerciais, industri-

\*sergio.silva@ifg.edu.br

ais, propriedades rurais e prédios públicos [3]. Apesar das inúmeras vantagens associadas ao Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), são necessários estudos relacionados aos fatores que garantam a qualidade e eficiência desses sistemas de forma a incentivar o investimento nessa tecnologia.

Tabela 1: Matriz de Energia Elétrica Brasileira [2].

Tipo	Quant.	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	685	671.573	670.919	0,42
Central Geradora Undi-Elétrica	1	50	50	0
Central Geradora Eólica	536	13.158.039	13.135.243	8,21
Pequena Central Hidrelétrica	426	5.103.119	5.075.853	3,17
Central Geradora Solar Fotovoltaica	2.234	1.306.522	1.306.522	0,82
Usina Hidrelétrica	220	101.897.047	96.405.579	60,27
Usina Termelétrica	3.005	43.107.242	41.373.989	25,87
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,24
<b>Total</b>	<b>7.109</b>	<b>167.233.592</b>	<b>159.958.155</b>	<b>100</b>

Diversos fatores podem levar à redução do desempenho dos SFCR, tais como: ângulo de incidência da radiação solar, fatores climáticos da região onde se encontra instalado, sujeidade e outros. Destaque especial deve ser dado ao acúmulo de impurezas sobre os módulos fotovoltaicos (FV) impedindo a absorção integral da radiação solar. Nesse sentido, é necessário investigar o impacto na produtividade de um SFCR quanto a presença de sujeidade, o tipo de impureza e os custos associados.

Enfim, avaliar os ganhos decorrentes com a implantação de um sistema de manutenção periódica através de limpezas dos módulos fotovoltaicos [4]. Vale destacar, uma vez mais, que o acúmulo de sujeira causa uma redução significativa na absorção da radiação solar o que tem sido constatado por inúmeras pesquisas que apontam para uma redução da ordem de 30% da geração [5]. O impacto imediato com a redução na geração de energia pelo SFCR ocorre nos indicadores econômicos, a exemplo o aumento no tempo do retorno do investimento do projeto fotovoltaico [4].

Cada SFCR possui suas peculiaridades em relação à produtividade de energia no tocante ao tipo de impurezas os quais podem estar sujeitos. Fatores como condições climáticas de cada região, tipo de poluição local, vegetação, detritos animais, tipos de solo (areia, silte ou argila), entre outros, podem levar à redução da eficiência dos SFCR [7]. Dentro desse contexto, torna-se de fundamental importância quantificar tais reduções na produção de energia e o impacto financeiro resultante.

A título de exemplificação vale destacar algumas pesquisas pelo mundo as quais quantificaram os efeitos que os processos de limpeza dos módulos fotovoltaicos exercem na quantificação da redução de produção decorrente do acúmulo de sujeira. Nas cidades de Leuven, na Bélgica e Bern, na Suíça, os efeitos significativos que a chuva realiza na superfície dos painéis, a manutenção regular manual se provou desnecessária [4] e [8].

De acordo com estudos realizados no Arizona - EUA, foi

constatado que a sujeira proveniente dos pássaros é mais severa que a poeira acumulada sobre os módulos [9]. Quanto à limpeza dos módulos, várias estratégias tem sido utilizadas, sendo que a limpeza manual com água, geralmente misturada com detergente, seguida pela limpeza com um pano macio é a prática mais comum para limpeza de SFCR de pequeno porte [10]. No entanto, para usinas fotovoltaicas já são necessários jatos pressurizados de água seguida de escovação como foi constatado em pesquisas em [11, 12, 13].

Em um SFCR de 1 MWp da usina de Puglia na Itália, os módulos foram limpos usando jatos de alta pressão com água destilada, onde alguns dos painéis da planta foram escovados após a limpeza e outros não. Utilizando um sistema de aquisição de dados para registros da produção de energia antes e depois de eventos de limpeza seguidas de escovações mostraram que o procedimento de limpeza aumenta a potência de saída da instalação em cerca de 7% em oposição aos 1% sem a escovações. A primeira razão para o aumento da eficiência é que muitas das pequenas partículas saíam apenas com a escovação [12].

Porém, escovar em excesso a superfície dos módulos pode degradar ou até danificar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Em [14] foi concluído que o processo de escovação dos painéis deve ser procedido com o máximo de cautela e delicadeza para não acarretar problemas com os módulos e ter o máximo de eficiência [14].

A Figura 2 mostra a sujeira acumulada nos painéis fotovoltaicos instalados sobre telhado do IFG campus Itumbiara, após 4 (quatro) meses de instalação. O local possui uma expressiva concentração de pombos que são os agentes de grandes impacto na sujeidade para com os módulos.

Figura 2: Sujeira registrada nos módulos do SFCR instalado no IFG/Campus Itumbiara.



Embora os resultados das pesquisas tenham sido satisfatórios para comprovar os efeitos da limpeza dos módulos na produtividade das instalações fotovoltaicas de pequeno porte, esses métodos ainda apresentam alguns desafios como preços e manutenção do sistema [15].

Nesse artigo, um SFCR instalado no Instituto Federal de Goiás, campus Itumbiara, foi utilizado para avaliar a influência da sujeira na produtividade de SFCRs instalados na região sul do estado de Goiás. O SFCR é composto por quatro subsistemas, sendo que esses diferenciam apenas em relação à limpeza a fim de quantificar a produtividade dos sistemas avaliados.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Os SFCRs são caracterizados por serem sistemas com baixa necessidade de realização de serviços de manutenção periódica, no entanto, um dos aspectos importantes relacionadas a esses sistemas é a limpeza regular dos módulos FVs.

Avaliar o acúmulo de sujeira sobre os módulos fotovoltaicos é um trabalho necessário para compreender e determinar a melhor forma de realizar a limpeza periódica desses sistemas, considerando os custos desse serviço, assim como os ganhos econômicos do aumento da eficiência devido a essa limpeza.

Os índices de mérito são cálculos que permitem analisar, de forma peculiar, as características de cada SFCR. O desempenho de um SFCR é verificado através de comparações entre seus valores de geração de energia, potência instalada e irradiação incidente, determinados através dos índices de mérito, em relação sistemas distintos de outras localidades ou em relação aos próprios sistemas porém sob outras condições operacionais, tais como quando do funcionamento dos módulos com acúmulo de sujeira sobre os mesmos [16].

### A. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Neste trabalho, analisou-se dois SFCR instalados sobre o telhado do IFG - Campus Itumbiara, localizado na região do sul de Goiás com coordenadas geográficas 18°26'8"Sul e 49°12'46,4"Oeste. Embora a instalação esteja localizada na região urbana, há grande atividade agrícola no seu entorno o que contribui para o acúmulo de sujeira sobre os módulos fotovoltaicos, além da expressiva população de pombos na região.

O SFCR possui 260 módulos com tecnologia policristalino de 270Wp cada (Canadian Solar modelo CS6P-270P), com capacidade total de 70,2kWp. O mesmo é distribuído em 4 subsistemas, sendo 3 deles instalados na cobertura da edificação dos blocos 300, 400, 500, e um subsistema instalado no solo. Os subsistemas instalados nos telhados dos blocos 300, 400 e 500 possuem quatro arranjos em paralelo, cada um com 21,6 kWp de potência.

A Figura [3] mostra uma vista aérea dos blocos os quais estão instalados os SFCR. Os módulos acompanham a mesma inclinação (7°) e orientação do telhado cujo desvio azimutal é de 51° a noroeste.

Figura 3: Gerador Fotovoltaico de 70,2 kWp Instalado no IFG/Campus Itumbiara.



A Tabela 2 apresenta os dados de cada subsistema como: quantidade de módulos, inversores utilizados e a capacidade

nominal de cada bloco.

Tabela 2: Resumo SFCR do IFG Campus Itumbiara.

Local	Quantidade de módulos	Modelo do Inversor	Potência do Inversor	Potência Total
Bloco 300	80	ABB	20 kW	21,6 kW
Bloco 400	80	SMA	20 kW	21,6 kW
Bloco 500	80	SMA	20 kW	21,6 kW
Solo	20	SMA	5 kW	5,4 kW
<b>Total</b>	<b>260</b>	-	<b>65 kW</b>	<b>70,2kW</b>

### B. ANÁLISE DE DESEMPENHO

As taxas de comportamento ou índices de mérito são avaliações que auxiliam nas análises, de forma característica, as peculiaridades de cada SFCR. A análise é verificada por meio de comparações entre os valores gerados de energia, a potência nominal da instalação e irradiação incidente sobre os módulos de cada subsistema avaliado. São descritos, a seguir, os principais parâmetros de desempenho utilizados para caracterizar um SFCR. Os índices de mérito são a produtividade final, taxa de desempenho e ganho de geração de energia dos subsistemas em estudo.

O subsistema do bloco 400 foi utilizado como padrão, isto é, não houve processo de limpeza durante o período de estudos. O subsistema do bloco 500 foi submetido a limpezas periódicas e durante o tempo de análise foram coletados os dados de potência e radiação solar. O intervalo de tempo empregado para os estudos foi de novembro de 2017 a julho de 2018.

#### 1) Produtividade Final - YF

Na área de sistemas fotovoltaicos, o termo YF é conhecido como Produtividade Final, *Final Yield*, expressa em kWh/kWp, e é a razão entre a energia elétrica gerada pelo SFCR em um determinado intervalo de tempo e a potência nominal do gerador, como mostra a Equação 1:

$$Y_f = \frac{E_g}{P_0} \quad (1)$$

onde:

$Y_f$  - Produtividade Final (kWh/kWp).

$E_g$  - Energia gerada em kWh

$P_0$  - Potência nominal do Sistema FV em kWp.

O parâmetro YF normaliza a energia produzida independentemente do porte do sistema, consequentemente, é uma maneira bastante conveniente de comparar sistemas fotovoltaicos de diferentes potências nominais. Esse parâmetro representa o número de horas que o SFCR deveria operar em sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia no período de tempo avaliado [17].

#### 2) Rendimento Global - PR

O Rendimento global, ou PR, "*Performance Ratio*", é adimensional e indica o rendimento do sistema em relação a um sistema teórico ideal e sem perdas. A partir dessa normalização com respeito à disponibilidade do recurso solar são quantificadas as perdas devido a diversos fatores, como: eficiência do inversor, perdas elétricas, temperatura do módulo, perdas por reflexão, sujeira, sombreamento e falhas dos componentes [18]. Representa a real capacidade

do sistema em transformar a energia solar incidente nos módulos em potência elétrica e pode ser determinado pela Equação 2:

$$PR = \frac{Y_f}{\frac{H_t}{G_{ref}}} \quad (2)$$

onde:

- $PR$  - Rendimento global.
- $H_t$  - Irradiação total no plano dos módulos FVs.
- $G_{ref}$  - Irradiação nas condições padrão 1 kWh/m<sup>2</sup>.

- 3) *Ganho de Geração* A análise do ganho de geração de energia após a limpeza dos módulos, utiliza-se da Equação 3, a qual permite determinar o quanto um subsistema instalado no bloco 500 (limpo) gera a mais, comparado ao subsistema instalado no bloco 400 (não limpo).

$$Ganho = 100 \times \frac{E_{g1} - E_{g2}}{E_{g2}} \quad (3)$$

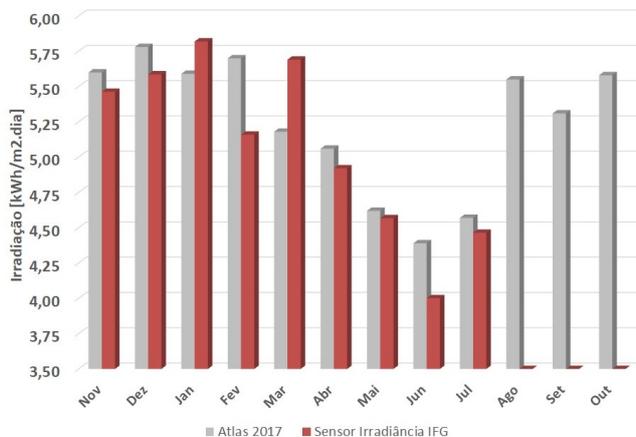
onde:

- $Ganho$  - Ganho de Geração.
- $E_{g1}$  - Energia gerada bloco 400
- $E_{g2}$  - Energia gerada bloco 500

### C. RADIAÇÃO E CLIMA NO LOCAL DE ESTUDO

Itumbiara possui médias de irradiação solar muito positivas para sistemas fotovoltaicos, como é possível observar na Figura 4, tendo os meses janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro com médias superiores a 5,5 kWh/(m<sup>2</sup>·dia) no plano horizontal, sendo o pior mês o de junho com média acima de 4,3 kWh/(m<sup>2</sup>·dia) [19]. A Figura 4 apresenta ainda os valores de irradiância no plano dos módulos (com inclinação de 7 graus) registrados no período avaliado nesse artigo. Os dados de irradiação no campus são obtidos por meio de uma célula de referência instalada juntos aos módulos FVs.

Figura 4: Média diária da Irradiação Solar em Itumbiara-GO.



O clima da cidade é tropical com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 23,8°C. Além disso, possui invernos secos e amenos, verão com muita chuva e temperaturas moderadamente altas, sendo o mês mais quente o de

outubro com médias de 38,5°C e o mês mais frio sendo o de julho com 21,1°C. Na região é comum a temperatura ter alterações repentinas que ocorrem por volta do mês de agosto até janeiro, onde o clima é bem quente podendo passar a margem de 40°C.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

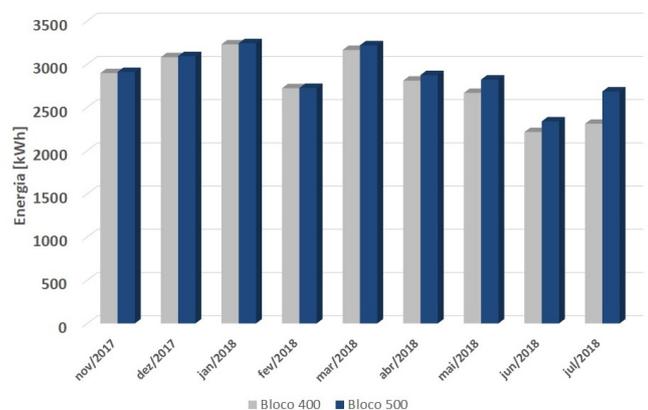
A análise apresentada nesse artigo foi realizada no período de novembro/2017 (entrada em operação do SFCR) a julho/2018, e ainda encontra-se em desenvolvimento, pretendendo-se avaliar os efeitos da sujeira durante o período de ano completo. Os dados de geração de energia ao longo do tempo, foram adquiridos pelo programa da SMA (sunnyportal) e compilados por meio de planilhas do Microsoft Excel®.

### A. GERAÇÃO DE ENERGIA NOS BLOCOS 400 E 500

A geração de energia, antes da realização da primeira limpeza, não apresentou diferenças, com valores praticamente idênticas. A primeira limpeza ocorreu após 4 meses de operação do sistema, ou mais precisamente no dia 05 de março de 2018, realizado no fim do dia, após as 6 horas da tarde, e teve duração de 1 hora. Mesmo com o grande período de chuva dos meses anteriores à primeira limpeza, os módulos se apresentavam muito sujos com um grande índice de poeira, fezes de pássaros, além de gravetos e folhas. A segunda limpeza foi realizada no dia 04 do mês de maio de 2018 às 17h30min e também teve duração de aproximadamente 1 hora. Assim como na primeira limpeza praticamente não houve redução da geração de energia no horário da limpeza.

A Figura 5 apresenta os dados de monitoramento nos nove primeiros meses após a instalação do SFCR. É possível observar que a diferença de geração de energia entre os subsistemas instalados nos blocos 400 e 500 são aproximadamente zero nos quatro primeiros meses (antes da primeira limpeza), confirmando ambos o mesmo potencial de geração de cada subsistema.

Figura 5: Energia Gerada pelos subsistemas FVs no IFG/Campus Itumbiara.



Mesmo com o grande período de chuva dos meses anteriores à primeira limpeza, os módulos se apresentavam muito sujos com um grande índice de poeira, fezes de pássaros, além de gravetos e folhas.

Após a realização da primeira limpeza, a diferença na produção de energia foi próxima de 2%.

É importante registrar que nos primeiros 4 meses de instalação do SFCR no campus Itumbiara, foi o principal período de chuvas na região, apresentando índices de 193 mm em novembro, 210 mm em dezembro, 330 mm em janeiro e 209 mm em fevereiro [20].

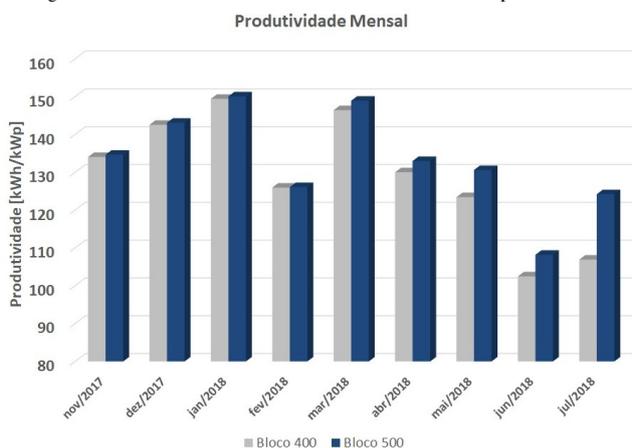
A segunda limpeza foi realizada no dia 04 do mês de maio de 2018 às 17h30min e também teve duração de aproximadamente 1 hora. Assim como na primeira limpeza praticamente não houve redução na eficiência da geração no horário da limpeza, no entanto a eficiência do subsistema instalado no bloco 500 foi de aproximadamente 5,5%.

As médias de chuvas nesse período para a região foram de 80 mm e 83 mm para os meses de março e abril respectivamente segundo dados do INMET, uma quantidade bem menor quando comparado aos índices dos meses antes da primeira limpeza.

A última limpeza programada foi realizada no 9 de julho suas análises ainda não são conclusivas, porém é possível observar ganho no rendimento mensal do subsistema limpo, próximo a 14%. Nos meses que antecede a essa terceira limpeza, foi registrado apenas um dia de chuva com volume de 15 mm, não havendo registros de chuvas nos meses seguintes.

A Figura 6 mostra os valores da produtividade para os subsistemas avaliados. É possível observar um aumento na produtividade do subsistema do bloco 500 em relação ao subsistema do bloco 400. Pode-se dizer que, o subsistema do bloco 400 precisa de mais horas de sol para produzir a mesma quantidade de energia que o subsistema instalado no bloco 500.

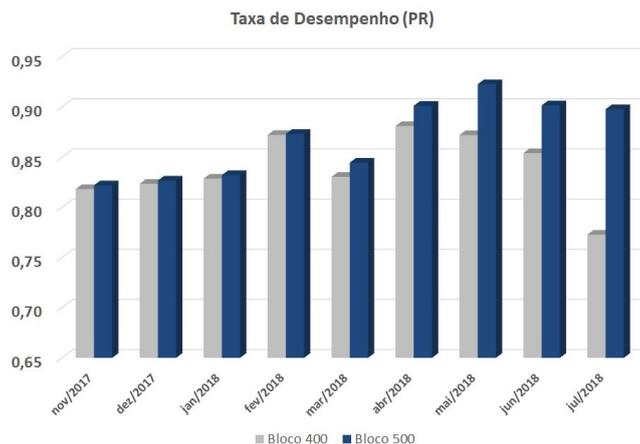
Figura 6: Produtividade de cada subsistemas FVs no IFG/Campus Itumbiara.



Os valores da taxa de desempenho (PR) são apresentados no gráfico da Figura 7. É possível observar nos últimos quatro meses de análise, um ganho na taxa de desempenho, bem como a sua manutenção por um período prolongado para o subsistema limpo.

Já para o subsistema mantido sujo, a taxa de desempenho sofreu uma redução, principalmente no último mês, com aumento do acúmulo de sujeira, chegando a uma diferença de 16%.

Figura 7: Valores percentuais da PR em cada subsistemas FVs no IFG/Campus Itumbiara.



#### IV. CONCLUSÕES

O impacto do acúmulo de sujeira na produtividade em SFCR, é um tema de grande relevância entre profissionais e pesquisadores ligados a esse setor. O acúmulo de sujeira pode acarretar na redução da eficiência dos SFCR, consequentemente no aumento do tempo de retorno financeiro investido no projeto. O presente artigo apresentou que os impactos da sujeira na produtividade dos dois subsistemas analisados no IFG campus Itumbiara foram da ordem de 2% no período de chuvas, confirmando eficiência da autolimpeza causada pelas mesmas e assim, a pouca necessidade de realizar esse serviço nesse período do ano. Porém, o efeito no desempenho dos sistemas nos períodos secos deve ganhar de 6% logo após os dois primeiros meses sem chuva, alcançando 16% no terceiro mês sem chuvas. Portanto, a limpeza programada dos SFCR durante os períodos secos apresentou-se necessária, aumentando produtividade e a economia do sistema por um período de no mínimo dois meses. Uma abordagem econômica detalhada faz-se necessário, de forma a verificar os elevados níveis de perda em produtividade, assim como, decisão entre realizar o serviço de limpeza ou aumentar a capacidade de geração, acrescentando mais módulos fotovoltaicos.

#### REFERÊNCIAS

- [1] IEA, International Energy Agency. *SnapShot of Global Photovoltaic Markets*. Acedido em 24 de Maio de 2018, em: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_SnapShot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2017.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_SnapShot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf).
- [2] ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Banco de Informações de Geração*. Acedido em 21 de Julho de 2018, em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.
- [3] ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Micro e Minigeração Distribuída (REN 482/2012)*. Acedido em 21 de Julho de 2018, em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/rcgMicro.asp>.

- [4] RYAN C.P., Vignola F., McDaniels D.K. *Solar cell Arrays: Degradation due to dirt*, American Section of the international Solar Energy Society. Denver, CO. 1998.
- [5] L. Dunn, B. Littmann, J. R. Caron, M. Gostein, *PV module soiling measurement uncertainty analysis*, 39th IEEE. 2013.
- [6] ASTRA Solar. *É necessário dar manutenção no Sistema de energia solar fotovoltaico?*. Acedido em 11 de junho de 2018, em: <http://astrasolar.com.br/energia-solar/manutencao-no-sistema-de-energia-solar/>.
- [7] DARWISH, Z. A.; Kazem, H. A.; Sopian K.; Al-goul, M.; Alawadhi, H. *Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance*. Renewable and sustainable energy, 2015.
- [8] HAEBERLIN H., Graf J.D. *Gradual reduction of PV generator yield due to pollution*. 2nd World Conference on photovoltaic solar energy conversion. Vienna, Austria. 1998.
- [9] HAMMOND, R., Srinivasan, D., Harris, A., Whitfield K., Wohlgemuth J. *Effects of soiling on PV module and radiometer performance*. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PSVC), Anaheim, CA. 1997.
- [10] MOHAMED A.O., Hasan A. *Effect of dust accumulation on performance of photovoltaic solar modules in Sahara environment*. J. Basic Appl. Scient. 2012.
- [11] EL-NASHAR A.M. *The effect of dust accumulation on the performance of evacuated tube collectors*. Solar Energy 53, 1994.
- [12] PAVAN A.M., Mellit A., Pieri D.D. *The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants*. Solar Energy 85, 2011.
- [13] KIMBER A. *The effect of soiling on photovoltaic systems located in arid climates*. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Milan, Italy. 2007.
- [14] FREESE J.M. *Effects of outdoor exposure on the solar reflectance properties of silvered glass mirrors* International Solar Energy Society Conference. Atlanta, GA. 1979.
- [15] LAMONT L.A., Chaar, L.E. *Enhancement of a stand-alone photovoltaic system's performance: reduction of soft and hard shading* Renewable Energy 36, 2011.
- [16] HICKEL. B. M. Deschamps. E. M. Nascimento. L. R. Ruther. R. Simões. G. C.. *Análise da influência do acúmulo de sujeira sobre diferentes tecnologias de módulos FV: revisão e medicos de campo* VI congress Brasileiro de Energia Solar – BH, 04 a 07 de Abril de 2016.
- [17] BENEDITO, R. S. *Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório* Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2009.
- [18] PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos* CRESESB, 2014.
- [19] PEREIRA, E. B. Martins F. R. Golçalves A. R. Costa R. S. Lima F. J. L. Ruther R. Abreu S. L. Tiepolo G. M. *Atlas Brasileiro de energia solar – INPE - São José dos Campos – São Paulo – Brasil, 2017.*
- [20] INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. *estações automáticas*. Acedido em 11 de junho de 2018, em: [http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTazNQ==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTazNQ==).

## DADOS BIOGRÁFICOS

**Marcos Vinícius da Silva Candine** Graduando em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Goiás - Campus Itumbiara. Possui experiência em projetos de micro e mineração solar fotovoltaica.

**Sergio Batista Silva** Graduado em Engenharia Elétrica e Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia (1999/2003). Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (2010). Foi professor no Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Tocantins (IFTO), de 2003 a 2013. Desde 2013 atua como professor no Instituto Federal de Goiás (IFG) no curso de Engenharia Elétrica e na Especialização em Fontes Renováveis de Energia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em geração da energia elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: fontes renováveis de energia, sistemas híbridos de geração distribuída e análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

**Olívio Carlos Souto do Nascimento**, nascido em 05/06/1963 em Uberlândia-MG, Brasil. Graduou-se como Engenheiro Eletricista e obteve o título de Mestre e Doutor pela Universidade Federal de Uberlândia em 1998 e 2003, respectivamente. Atualmente, é professor no curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Goiás, em Itumbiara, GO. Sua área de pesquisa está relacionada a qualidade da energia elétrica, eficiência energética, fontes renováveis de energia, geração distribuída e impacto no sistema elétrico.

**Willian Martins Leão** possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Controle e Automação pela Universidade Federal de Uberlândia (2013) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2015). Atualmente, é professor dedicação exclusiva do Instituto Federal de Goiás, em Itumbiara/GO. A sua pesquisa concentra-se nos temas: robótica, controle robusto, identificação de sistemas, eficiência energética, energias renováveis, automação e instrumentação.

**Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente** graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação pela Universidade de São Paulo (2008) e mestre e doutorando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Atualmente é professor do Instituto Federal de Goiás - Campus Itumbiara/GO. Sua pesquisa atual é dedicada as áreas de Controle Passivo de Vibrações e Colheita de Energia Ambiental, com foco em sistemas auto-alimentados (*self-powered*).