

# IMPACTO DA SUJIDADE SOBRE O DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

**Jair Gomes Soares Júnior** – jairgsjunior@gmail.com

**Silvia Ramos Cruz** – silvia.engdesistemas@gmail.com

Universidade Estadual de Montes Claros, Departamento de Ciências da Computação

**Leonardo Santos Amaral** – leonardo.amaral@unimontes.br

Universidade Estadual de Montes Claros, Departamento de Ciências da Computação

Faculdade de Ciências e Tecnologias de Montes Claros

**Resumo.** *Este trabalho apresenta a análise dos efeitos do acúmulo de sujeira sobre as placas de um sistema fotovoltaico real e quantifica a redução que a mesma provoca na geração de energia. É realizada a comparação de dois arrays sendo que um é limpo periodicamente e o outro não. Além disso, os testes realizados estabelecem um intervalo mínimo de periodicidade de limpeza dos arrays e mostra que em períodos de chuvas frequentes a limpeza proporcionada pela mesma permite reduzir substancialmente ou eliminar a necessidade da limpeza manual das placas.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Sujidade, Eficiência*

## 1. INTRODUÇÃO

Ainda hoje uma das principais fontes de energia do mundo são as fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis. Mas devido ao aumento dos preços e crescentes problemas ambientais tem-se observado uma tendência de busca e pesquisa de energias renováveis alternativas, dentre elas está a energia solar.

O interesse de geração de energia solar no Brasil é crescente, por tratar-se de uma fonte de energia limpa, renovável e de alto potencial de geração. A título de comparação, a Alemanha que possui o maior parque gerador de energia solar do mundo possui um nível de radiação médio inferior ao da região sul do Brasil onde os níveis de radiações são mais baixos em nosso território, por isso a oportunidade de explorar esta forma de geração de energia em nosso país é grande. Recentemente foi regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a geração distribuída que possibilita que os consumidores possam gerar parte da energia que consome e o excedente é entregue para uma concessionária de energia, gerando crédito para o mesmo.

No Brasil a regulamentação da geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos teve início em 2012 com a publicação da resolução 482 da ANEEL que estabeleceu regras para o funcionamento das mini e micro usinas geradoras de energia conectadas à rede elétrica. A emissão de uma nova resolução em novembro de 2015 deu um novo impulso ao crescimento das instalações destes sistemas no Brasil.

O sistema solar fotovoltaico (PV) utiliza células solares para converter energia da radiação solar em eletricidade, o sistema normalmente é composto por um conjunto de painéis, baterias e controladores de carga. Conectados a inversores, os PVs solares convertem a energia proveniente de corrente contínua dos painéis solares em energia proveniente de corrente alternada (Sulaiman *et al.*, 2014).

Um dos grandes desafios para o aumento do interesse pela geração de energia solar é o tempo de retorno do investimento inicial, atualmente estende-se entre cinco e oito anos dependendo do porte do sistema instalado. Um dos fatores que contribui para este elevado tempo de retorno são os custos de manutenção, que envolvem substituição de equipamentos que apresentam mau funcionamento e a necessidade de limpeza periódica das placas solares. O desempenho de um sistema fotovoltaico tem um impacto direto sobre o tempo de retorno do investimento, sendo que tal desempenho depende de vários fatores como temperatura, sombreamento parcial, sujidade e outros.

A eficiência das células fotovoltaicas varia dependendo do tipo de placa entre 14% e 20 % (Villalva, 2015). Como as células dependem diretamente da incidência solar é de extrema importância fazer sua limpeza periodicamente, para que seja captado o máximo de fótons incidentes nas mesmas. (Duarte *et al.*, 2015).

Apesar de ser um fator ainda pouco estudado, o impacto da sujidade em painéis solares pode vir a ser bastante significativo em áreas com longos períodos de estiagem ou em áreas poluídas com alta concentração de partículas. Segundo Lemos (2016), o acúmulo de sujeira pode causar uma redução no desempenho de 4 a 26,3%, dependendo do tipo de célula/placa. Este dado indica que uma manutenção apropriada é fundamental para assegurar um bom desempenho de um sistema fotovoltaico.

## 2. SUJIDADE

De maneira geral e no contexto deste trabalho, segundo Lemos (2016) sujidade são os resíduos de compostos inorgânicos presentes em poeira, pólen de plantas, carbono amorfo resultante de queima de combustíveis fósseis e incêndios florestais, resíduos oleosos oriundos de processos produtivos e tráfego de veículos.

A poeira é uma camada fina que cobre a superfície da matriz solar e as partículas típicas de poeira são inferiores a  $10\ \mu\text{m}$  de diâmetro, mas isso depende da localização e do seu ambiente. A poeira é gerada por muitas fontes, como poluição por vento, erupções vulcânicas e movimentos de veículos entre muitos outros. (Maghami *et al.*, 2016).

Existem dois parâmetros interdependentes que influenciam a caracterização da acumulação de sujidade em painéis solares, as propriedades do pó e o ambiente local. A propriedade da poeira consiste em tamanho, peso, componentes e formas (Mani e Pillai, 2010).

Segundo Maghami *et al.* (2016), o fato da superfície da placa não ser lisa e, em vez disso, ser áspera e pegajosa, permitindo assim que mais sujeira se acumule. A inclinação da placa também é um aspecto que influi no acúmulo de sujeira na mesma, quanto mais horizontal é a superfície, maior pode ser a quantidade acumulada. Outros fatores como brisa lenta, o fluxo de ar devido ao vento e periodicidade de chuvas colaboram para o surgimento do acúmulo de sujidade.

O efeito do acúmulo de sujeira é minimizado pela limpeza proporcionada pela incidência de chuvas, sendo observado que chuvas frequentes pode tornar a quantidade de sujeira acumulada pouco impactante, se não desprezível. Para que isso ocorra, uma angulação de pelo menos  $10^\circ$  é normalmente suficiente. Quanto maior for a inclinação do módulo, mais fácil para que esta autolimpeza aconteça (Araújo, 2016).

O acúmulo constante de sujeira por longos períodos de tempo pode provocar a queda de desempenho do sistema de modo significativo, devido a isto torna-se necessária a manutenção periódica do sistema fotovoltaico. A manutenção adequada é um fator crítico para assegurar o máximo desempenho dos sistemas fotovoltaicos. A Fig. 1 apresenta o aspecto de um módulo sujo e de um módulo limpo.



(a)



(b)

Figura 1 - (a) módulo fotovoltaico sujo e (b) módulo fotovoltaico limpo (fotografado pelos autores)

## 3. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA EM ESTUDO

Em 2015 a Unimontes (Universidade Estadual de Montes Claros) e a Cemig (Centrais Elétricas de Minas Gerais) firmaram um convênio para a instalação de um destes sistemas no campus sede da universidade localizado na cidade de Montes Claros no Norte de Minas Gerais. Este sistema entrou em funcionamento em setembro de 2016 e desde então a Usina opera interligada à rede elétrica que alimenta os laboratórios de Biologia desta universidade.

### 3.1 Clima e Precipitação

Segundo a prefeitura de Montes Claros, o sistema fotovoltaico estudado está instalado em uma região de clima tropical semiárido, quente e seco, tendo invernos secos e amenos e verões chuvosos com temperaturas altas, o período das chuvas se concentram entre os meses de outubro a março. A precipitação média anual é de 1.060 mm e a temperatura média anual é de  $24,20^\circ\text{C}$ .

Os dados da Fig. 2 mostram as precipitações verificadas na cidade ao longo do ano de 2017, demonstrando os longos períodos de estiagem. Segundo Kimber (2007), devido ao prolongado período de estiagem, o acúmulo de sujeira se torna um dos principais fatores da degradação da performance dos sistemas fotovoltaicos.

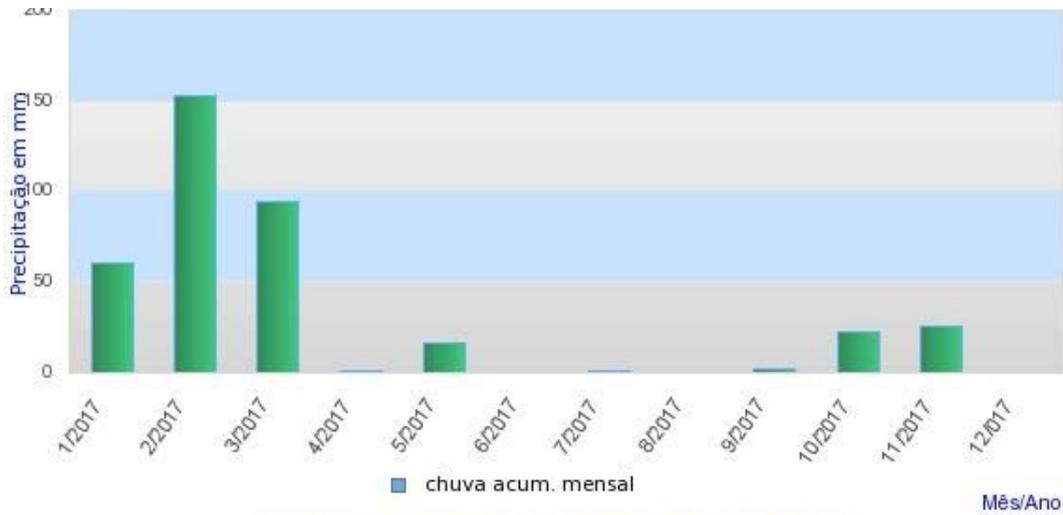


Figura 2 - Precipitação de chuva verificada na localidade de Montes Claros em 2017 até 19/11/2017 (Dados retirados do INMET)

### 3.2 Estrutura da Usina

O sistema fotovoltaico estudado está instalado na Universidade Estadual de Montes Claros (latitude 16°43'S, longitude 43°52'W). O sistema é composto por três arrays sendo que cada um possui quatro strings paralelas de módulos fotovoltaicos, onde cada string possui vinte e uma placas fotovoltaicas em série. As placas fotovoltaicas são de silício policristalino, de 50 Wp de potência e fabricadas pela KYOCERA Solar, modelo KC50T. O inversor instalado é o modelo PRIMO fabricado pela Fronius. O diagrama de ligação das placas e equipamentos de um arranjo é apresentado na Fig. 3, enquanto a Fig. 4 apresenta uma vista da Usina Fotovoltaica instalada na Unimontes.

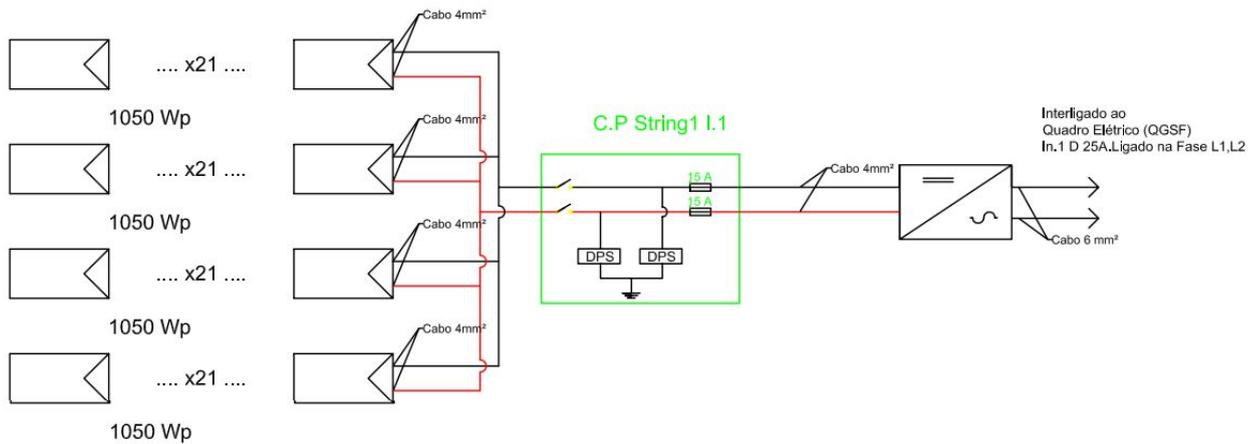


Figura 3 - Estrutura de um Array da Usina Fotovoltaica da Unimontes (Elaborada pelos autores)



Figura 4 - Usina fotovoltaica instalada na Universidade Estadual de Montes Claros (Fotografada pelos autores)

#### 4. ESTUDO DE SISTEMA REAL

##### 4.1 Painéis Solares

Cada array da instalação da Unimontes é composto por 84 módulos ou placas fotovoltaicas e este conjunto está interligado com a um inversor que faz o registro da energia gerada pelo conjunto de cinco em cinco minutos. Estes valores compõem um banco de dados desde o início da operação do sistema em 2016, portanto os dados das análises de geração são retirados deste banco de dados. Para avaliar o impacto da sujeira na performance do sistema, serão comparadas a geração proporcionada por dois arrays distintos da usina fotovoltaica.

O Array I foi tomado como referência, assim suas placas mantiveram o acúmulo de sujeira desde a última chuva ocorrida em maio de 2017 início do período de análise e até sua conclusão, ou seja, ficaram sem alterações durante o período estudado. As placas do Array II, por sua vez, foram limpas com diferentes intervalos de tempo para observar a perda de geração evitada durante o período estudado. Antes de realizar o experimento, foi feita uma medição da diferença da geração no período de vinte e três de junho de 2017 à oito de agosto de 2017 para avaliar a capacidade de geração deles sob as mesmas condições, ou seja, tendo acumulado sujeira desde a última incidência de chuva. A Fig. 5 apresenta o resultado obtido.

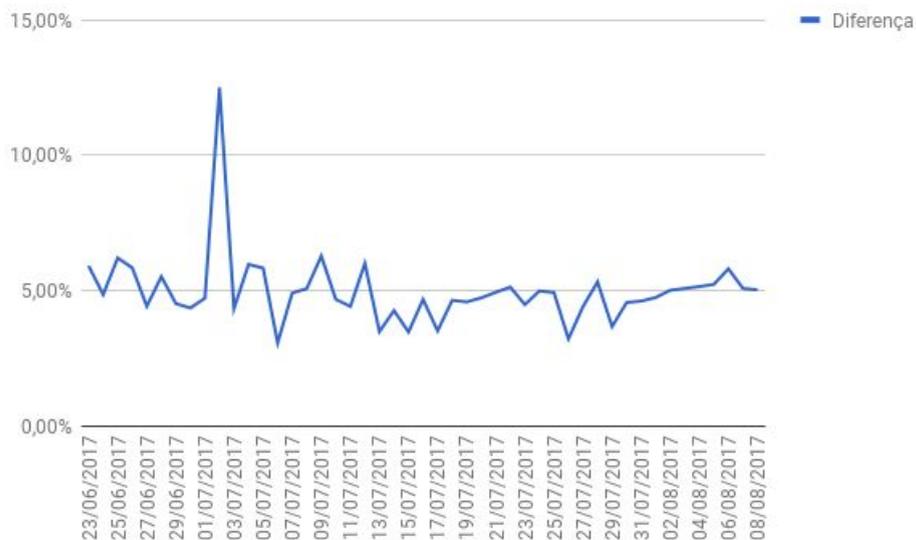


Figura 5 - Diferença de geração antes da limpeza dos Painéis Solares (Elaborada pelos autores)

A Fig. 5 indica que antes de realizar a limpeza nas placas, o array II estava gerando em média 5% a mais que o array I, este fato decorre da falta de uniformidade da sujidade, diferenças físicas dos equipamentos e possível degradação na performance de alguma placa das strings. Conhecer estes aspectos é importante para que seu efeito seja isolado da análise da performance dos arrays após o ciclo de limpeza que será efetuada, mostrando que teremos que abater até 5% na medição da perda de geração evitada após a limpeza. É possível observar a partir do gráfico a existência de um pico que reflete impactos de ações de manutenção ocorridas no dia dois de setembro de 2017 envolvendo os arrays da usina.

#### 4.2 Método de limpeza

A limpeza das placas foi efetuada manualmente, sem utilização de produtos químicos e apenas com auxílio de rodo, pano, mangueira e água pura. Inicialmente a periodicidade de limpeza foi semanal e depois mantido sem limpeza para fazer a análise da degradação da geração durante o período estudado. A limpeza teve início no dia quatro de setembro de 2017, nas duas semanas seguintes houve nova limpeza nos dias onze e dezoito de setembro. Como ocorreu uma chuva no dia trinta de setembro, nesta data todas as placas foram limpas e isso proporcionou dados importantes sobre os impactos da sua ocorrência.

#### 4.3 Impacto da limpeza

Na fig. 6 é apresentado a geração de energia de cada array após efetuar a limpeza das placas de um deles. Conforme se observa a geração de energia do array cujas placas foram limpas é sempre superior a do array cujas placas não foram limpas.

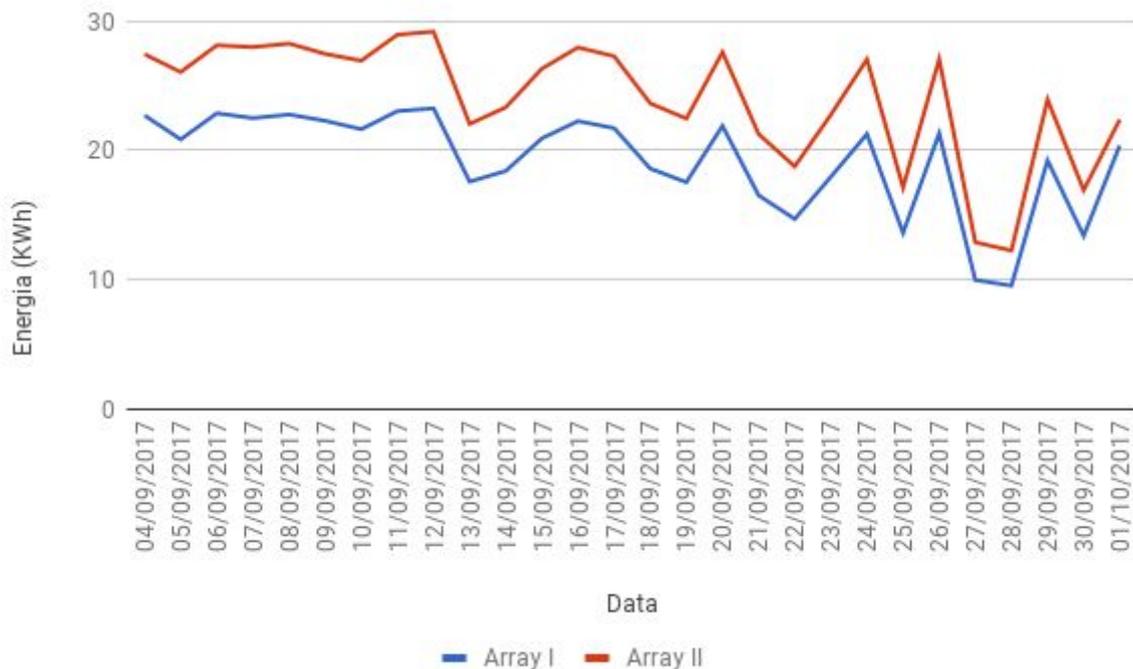


Figura 6 - Geração de Energia após Limpeza das Placas do Array II  
(Elaborada pelos Autores)

Para se estimar a perda de geração evitada que a limpeza das placas oferece, aplicamos a equação (1) a seguir que nos proporciona o quanto o array II (limpo) gera a mais que o array I (sujo), a partir dela levantamos a curva apresentada na Fig. 7.

$$\text{Perda de geração evitada (\%)} = 100 \times \left( \frac{W_{II} - W_I}{W_I} \right) \quad (1)$$

Na equação (1),  $W_{II}$  é a energia entregue pelo array II (limpo) enquanto  $W_I$  é a energia entregue pelo array I (sujo). A equação (1) mostra o efeito de limpeza do array, indicando a perda de geração evitada. Como descrito

anteriormente, a perda de geração evitada apresentada no gráfico da Fig. 7 contempla um desvio de até 5% em função da diferença de performance dos arrays observado através da Fig. 5.

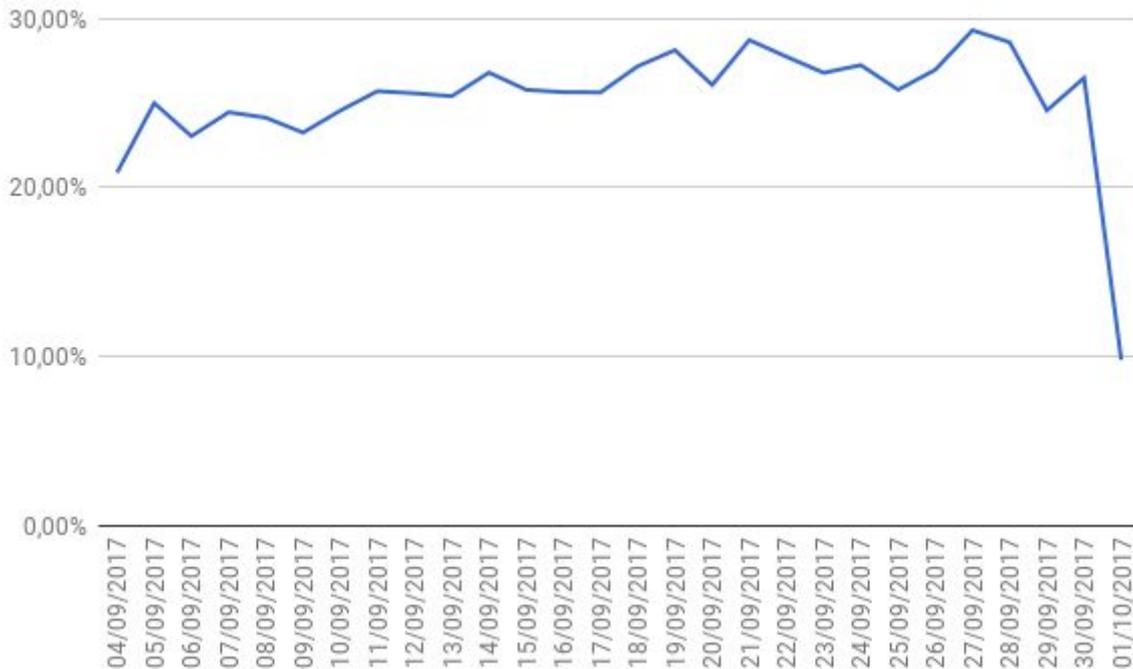


Figura 7 - Diferença percentual após limpeza

Na Fig. 7 pode-se observar que houve um crescimento médio constante da perda de geração evitada durante o período de quatro a dezoito de setembro, algo que pode ser explicado como sendo resultado da limpeza de sujeira residual nas placas. Durante o período de dezoito de setembro a primeiro de outubro de 2017, as placas do array II não foram limpas para observar uma possível degradação da sua geração. Então foi observado que a perda de geração evitada com a limpeza manteve-se estável por duas semanas com uma variação de no máximo 2%. Através dos testes pode-se constatar que com o intervalo de sete ou quatorze dias na limpeza das placas do array II não foi observada alteração significativa na sua geração, indicando ser adequado efetuar limpeza em períodos superiores a quinze dias.

#### 4.4 Efeito da Chuva na Geração

Na Fig. 8 temos o gráfico pluviométrico de Montes Claros retirado da base de dados do INMET.

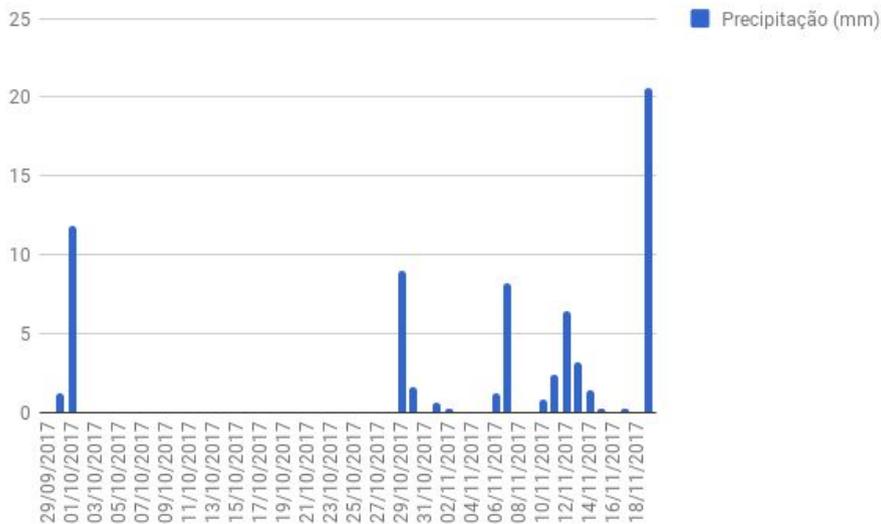


Figura 8 - Precipitação de Chuva (Dados retirados do INMET)

No dia trinta de setembro de 2017, choveu na cidade e como consequência as placas dos dois arrays em estudo foram limpas de forma natural. Como mencionado anteriormente, esta limpeza natural reduz o nível de sujeidade significativamente e isso pode ser observado a partir da curva apresentada na Fig. 9, que mostra que a diferença entre a geração do array I e do array II reduziu de aproximadamente 25% para um patamar levemente superior ao indicado na Fig. 5 assumindo valores próximos a zero em dias nublados.

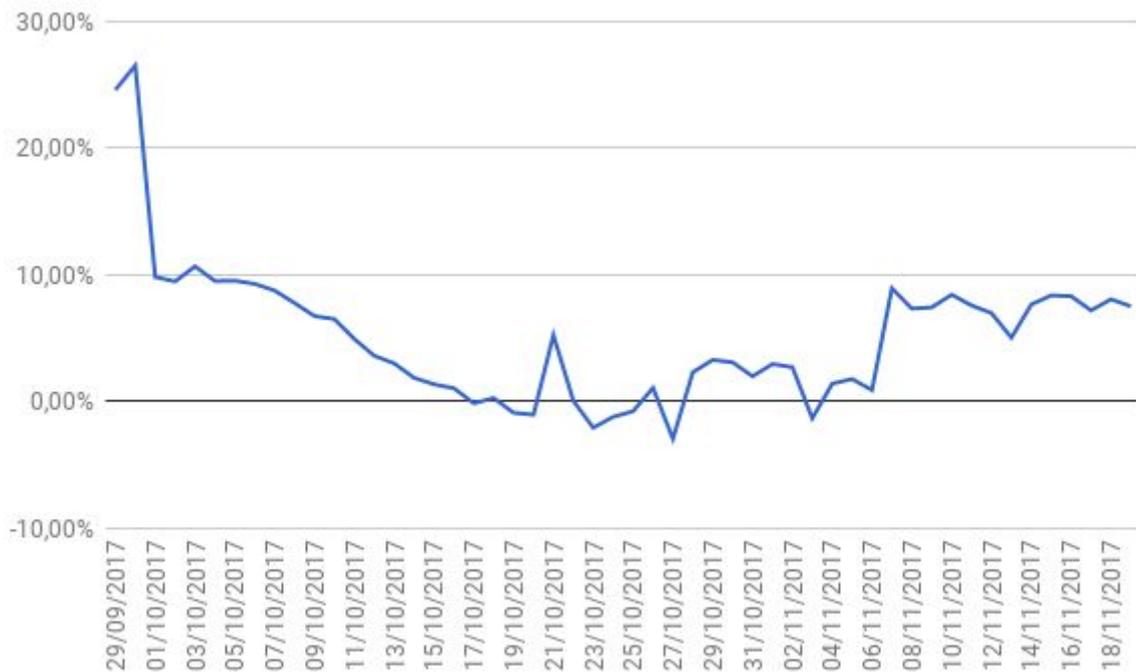


Figura 9 - Diferença de Geração entre os Painéis

Este resultado mostra que a chuva constitui um importante fator no estudo da periodicidade de limpeza dos painéis solares, por fornecer um processo natural e eficiente de limpeza.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram quantificadas as perdas de energia provocadas pela sujeidade nas placas do Sistema Fotovoltaico instalado nas dependências do campus da Universidade Estadual de Montes Claros, que representam grandes somas energia e, portanto, produz uma diminuição substancial na eficiência do sistema fotovoltaico estudado. Em muitos locais, como nessa instalação, é indispensável uma limpeza regular dos módulos, o que eleva os custos de manutenção.

O propósito deste trabalho foi preencher uma lacuna que é a ausência de estudos em sistemas reais do impacto da sujeidade nas placas dos Sistemas Fotovoltaicos.

Como principais conclusões deste trabalho, pode-se destacar o seguinte:

- Em locais de períodos prolongados de estiagem, como é o caso de Montes Claros é necessária uma limpeza periódica das placas para que a geração de energia da usina não se degrade com o aumento da sujeidade nas placas.
- As perdas de geração média de 20% que foram observadas no sistema avaliado são de decorrência do acúmulo de sujeidade.
- Os resultados alcançados comprovam que não há necessidade de realizar limpeza em intervalo inferior a 15 dias.
- Os resultados também demonstram que a chuva é uma grande aliada já que contribui com a limpeza das placas fotovoltaicas.
- Nos períodos de chuvas frequentes com intervalos inferiores a 15 dias é muito provável que possa ser dispensada a limpeza de rotina das placas fotovoltaicas

Em suma, fica evidente que o percentual de sujidade está ligada à condições climáticas, estruturas das placas, características da instalação (inclinação) e características da poeira, estabelecendo portanto que a localização e o ambiente em que estão localizadas as usinas fotovoltaicas são fatores que contribuem diretamente para o desempenho do sistema fotovoltaico.

### **Agradecimentos**

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Em especial ao professor Leonardo S. Amaral pelo apoio e orientação.

### **REFERÊNCIAS**

- Araújo, A. J. N., RankA, N. I., Bueno, T. B. A., Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica em Curitiba. Trabalho de Conclusão de Curso, UTFP, Curitiba.
- Dados Gerais da Cidade de Montes Claros. Prefeitura de Montes Claros. <http://www.montesclaros.mg.gov.br> <Acessado em 18/11/2017>
- Duarte, M. H. C., Brandão, L., Cardoso, V. L. M., Santos, W. P., 2015. Eficiência das placas fotovoltaicas relacionado a limpeza. Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, Minas Gerais, vol. 1, n.1.
- El-Shobokshy, M. S., Hussein, F. M., 1993. Effect of dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells. Solar Energy, v. 51, p. 505-511.
- Kimber, A., 2007. The Effect of Soiling on Photovoltaic Systems Located in Arid Climates. In: Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, p. 1-7.
- Lemos, L. O., Ferreira, Â. M., Jota, P. R. S., Silva, A. G. V., 2016. Efeitos da sujidade no desempenho de módulos fotovoltaicos, Belo Horizonte – Minas Gerais, VI CBENS - VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Minas Gerais.
- Maghami, M. R. *et al.*, 2016. Power loss due to soiling on solar panel: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 1307-1316.
- Mani, M., Pillai, R., 2010. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, p. 3124-3131.
- Vallêra, A. M., 2006. Meio Século da História Fotovoltaica. Gazeta de Física, vol. 29, Fasc. 1-2.
- Villalva, M. G., 2015. Energia Solar Fotovoltaica, 2a Edição.
- Zorrilla-Casanova, J. *et al.*, 2011. Analysis of dust losses in photovoltaic modules. World Renewable Energy Congress, Linköping, Suíça.

### **IMPACT OF SOILING ON PHOTOVOLTAIC SYSTEM PERFORMANCE**

**Abstract.** *This work presents the analysis of the effects of soiling on solar panel of a real photovoltaic system and quantifies the reduction that it causes in the generation of energy. A comparison of two arrays is performed, one being periodically cleaned and the other not. Furthermore, the tests performed establish a minimum interval of periodicity of cleaning of the arrays and shows that during periods of frequent rains the cleaning provided by the arrays allows to substantially reduce or eliminate the need for manual cleaning of the solar panel.*

**Key words:** *Solar Energy, Soiling, Performance*