

Aproximação da potência máxima de painel fotovoltaico por algoritmos de regressão no WEKA

Maximum power output approximation of a photovoltaic panel using WEKA regression algorithms.

RESUMO

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e com leis de incentivo ambiental, além de fatores socioeconômicos, as energias renováveis têm alcançado maior destaque, especialmente a energia solar fotovoltaica. Com a maior utilização dessas energias, surgem as preocupações com eficiência. Neste trabalho é realizada uma aproximação da potência máxima de saída de um painel fotovoltaico através do algoritmo de regressão linear no WEKA. Esta aproximação, cujo resultado é uma equação linear, indica a influência de vários fatores meteorológicos na potência produzida pelo painel. Os resultados indicam que o Albedo tem grande influência na potência gerada, e que assim como a Precipitação, pode influenciar mais ainda do que a Radiação incidente ou Temperatura ambiente. O software, por sua vez, se mostrou uma ferramenta eficiente nas tarefas de mineração de dados por diversos fatores, incluindo tratamento de dados, amplo leque de recursos e algoritmos, e facilidade de manuseio.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar. Painel Fotovoltaico. SPMP. WEKA. Mineração de dados.

ABSTRACT

With the development of new technologies and environmental incentive laws, renewable energies have become more prominent, especially solar photovoltaic energy. With the greater use of these energies, concerns arise with efficiency. In this work an approximation of the maximum output power of a photovoltaic panel is performed by the linear regression algorithm in WEKA. This approximation, which results in a linear equation, indicates the influence of various weather factors on the power output of the panel. The results indicate that albedo has a great influence on the generated power, and that as much as Precipitation, can influence even more than the incident Radiation or Ambient Temperature. The software, in turn, has proven to be an efficient tool in data mining tasks for several factors including data handling, wide range of features and algorithms, and ease of handling.

KEYWORDS: Solar energy. Photovoltaic panel. MPPT. WEKA. Data mining.

Paulo Victor Zuffo Oyama
pvzoya@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

Diogo Marujo
diogomarujo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

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



INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, com o advento de novas tecnologias, e com as condições socioeconômicas atuais, dia por dia a demanda de energia elétrica aumenta. Esse crescimento, aliado às leis que incentivam a utilização de energias renováveis têm feito com que a matriz energética brasileira se altere. As fontes de energias renováveis sempre estiveram em pauta nas discussões acerca do meio ambiente. Tendo isso em vista, naturalmente sua utilização tende a aumentar.

Inúmeros autores já realizaram pesquisas em assuntos afins, em assuntos relacionados a energias renováveis, energia solar, painéis fotovoltaicos, estações solarimétricas, qualidade de energia em geração distribuída, micro e mini geração, smart grid, entre outros.

Autores como Cechinel, Yoshida, Sá (2014), ou Almeida (2015) são exemplos de pesquisas realizadas e que dão luz ao valor que este assunto tem na presente conjuntura da sociedade.

Almeida (2015), em sua pesquisa aponta que a qualidade de energia nas conexões entre os equipamentos e a rede pode ter grande influência na durabilidade dos equipamentos como um todo, e faz um estudo de estabilidade transitória no ambiente MATLAB.

Assim como Almeida (2015), Rossetto e Vialle (2015) estudam a qualidade da energia no ponto de conexão de inversores de sistemas fotovoltaicos com a rede elétrica e indicam que cargas semelhantes tendem a ter seu perfil de tensão menos alterado, e que de um modo geral, a maioria das cargas são muito pouco afetados por variação de harmônicos tando da rede quando do grupo de painéis.

Cechinel, Yoshida e Sá (2014) dão um exemplo de uma das possíveis utilizações para a geração distribuída através da energia solar, realizando estudo de viabilidade econômica para implantação de painéis fotovoltaicos para iluminação com lâmpadas LED.

Cagnini (2018) desenvolveu uma plataforma experimental para aquisição de dados de geração fotovoltaica, que pode ser de grande ajuda e suporte para diversos trabalhos que utilizarão de painéis fotovoltaicos e energia solar. A instrumentação que o autor projetou teve um desempenho como esperado e operando conforme parâmetros de projeto e apresentando resultados confiáveis, e se mostrou um sistema robusto e confiável.

Embora energias renováveis, como biomassa, solar, eólica tenham incontáveis aplicações, um fator é comum: a eficiência. Em painéis fotovoltaicos, existem várias maneiras de melhorar a eficiência: entre elas: redução do índice de refletividade da superfície, também conhecido como albedo, posicionamento com correta inclinação e posição, mas o mais importante é o controle da tensão de saída do painel fotovoltaico, que deve ser tal que a potência de saída seja máxima. Esse controle é feito através de um conversor CC/CC chaveado, controlado por um algoritmo (Almeida, 2015). O algoritmo que controla este conversor, chamado SPMP, pode requerer um alto nível de processamento computacional das máquinas envolvidas, uma vez que a modelagem do painel e das curvas I-V da placa fotovoltaica são complexas. Porém, é possível aproximar essa potência P_{Max} através de uma equação mais simples, do ponto de vista do processamento, de modo a melhorar a eficiência e o funcionamento dos equipamentos em conjunto.

Neste trabalho, será feita uma aproximação de P_{Max} através de tarefas de regressão linear de data mining, executadas no WEKA.

METODOLOGIA

As análises começam pela aquisição de dados, que são informações medidas in loco, e armazenadas em arquivos e planilhas do Excel. Diferentes informações foram adquiridas através de equipamentos de monitoramento de grandezas físicas, como radiação solar, temperatura, velocidade do vento, precipitação, ao longo do dia. Todas essas medições foram feitas ao longo de um ano inteiro, a cada 15 minutos, na estação solarimétrica da UTFPR, campus Medianeira. A Figura 1 exemplifica como os dados foram armazenados.

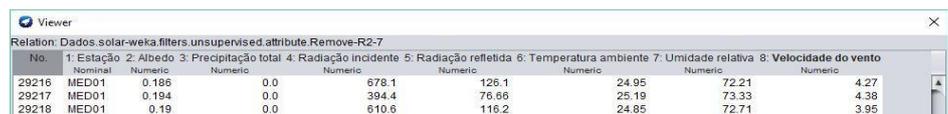
Figura 1 – Dados armazenados no Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Estação	Data	Hora	Albedo	Precipitação total	Radiação incidente	Radiação refletida	Temperatura ambiente	Umidade relativa	Velocidade do vento
2	MED01	01/01/2018	00:00:00	0	0	0	0	26,54	84,7	1,58
3	MED01	01/01/2018	00:15:00	0	0	0	0	26,31	85,1	1,83
4	MED01	01/01/2018	00:30:00	0	0	0	0	26,22	84,8	2,26
5	MED01	01/01/2018	00:45:00	0	0	0	0	26,2	85	2,04

Fonte: Autoria Própria.

Para se realizar as análises no WEKA, todas as informações armazenadas no arquivo do Excel foram transformadas em um arquivo “.arff”, que é um tipo de arquivo específico do software, e que permite que as análises sejam feitas. O arquivo em questão pode ser observado na Figura 2:

Figura 2 – Dados.solar no Arff Viewer.



No.	1: Estação	2: Albedo	3: Precipitação total	4: Radiação incidente	5: Radiação refletida	6: Temperatura ambiente	7: Umidade relativa	8: Velocidade do vento
29216	MED01	0.186	0.0	678.1	126.1	24.95	72.21	4.27
29217	MED01	0.194	0.0	394.4	76.66	25.19	73.33	4.38
29218	MED01	0.19	0.0	610.6	116.2	24.85	72.71	3.95

Fonte: Autoria Própria.

Desconsiderando as perdas do painel, do sistema MPPT, levando em consideração que a temperatura da célula depende apenas da radiação solar e da temperatura ambiente, e considerando os seguintes parâmetros:

Tabela 1 – Parâmetros adotados

Parâmetros	Valor
N	1
S_{stc}	800 W/m ²
$P_{max,0}$	110W
μ_{Pmax}	-0,5%/°C
T_{stc}	47 °C

NOCT

20 °C

Fonte: Almeida (2015).

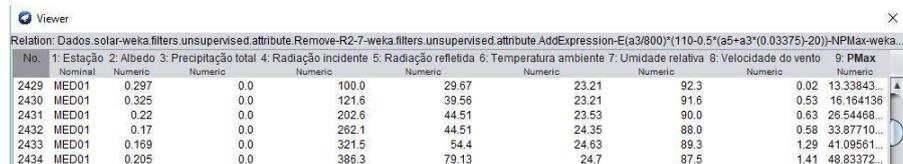
Os parâmetros elencados na Tabela 1 são, respectivamente: Número de placas, Radiação solar em condições normais de teste, P_{Max} mínimo garantido, Coeficiente da variação da potência pela variação da temperatura, Temperatura em condições normais de teste, Temperatura nominal de operação do módulo fotovoltaico.

Desta maneira, a potência máxima de saída pode ser aproximada pela seguinte equação, que depende apenas da Radiação incidente (S), e da Temperatura ambiente (T_a):

$$P_{Max} = 1 \frac{S}{800} [110 - 0,5 (T_a + 0,03375 S - 20)] \quad (1)$$

A partir da Eq. (1), é possível aplicar um filtro na própria interface do WEKA, chamado AddExpression, que permite adicionar um novo atributo, cujo valor depende da expressão informada ao software, que pode envolver diversas operações matemáticas, incluindo operações entre valores dos atributos de uma mesma instância. O atributo " P_{Max} " adicionado pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Relação com o atributo PMax



No.	1: Estação	2: Albedo	3: Precipitação total	4: Radiação incidente	5: Radiação refletida	6: Temperatura ambiente	7: Umidade relativa	8: Velocidade do vento	9: PMax
Nominal	Numerico	Numerico	Numerico	Numerico	Numerico	Numerico	Numerico	Numerico	Numerico
2429	MED01	0.297	0.0	100.0	29.67	23.21	92.3	0.02	13.33843...
2430	MED01	0.325	0.0	121.6	39.56	23.21	91.6	0.53	16.164136...
2431	MED01	0.22	0.0	202.6	44.51	23.53	90.0	0.63	26.54468...
2432	MED01	0.17	0.0	262.1	44.51	24.35	88.0	0.58	33.87710...
2433	MED01	0.169	0.0	321.5	54.4	24.63	89.3	1.29	41.09561...
2434	MED01	0.205	0.0	386.3	79.13	24.7	87.5	1.41	48.83372...

Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicando nesta relação o algoritmo de Regressão linear, considerando PMax como a classe, o software roda, e constrói um modelo que ajuste esses dados conforme os demais atributos da relação.

O modelo obtido foi treinado conforme o modelo de treino 10-fold Cross validation, que significa que o modelo será treinado 10 vezes, conforme o número de partes que se insere nas configurações da seção de treinamento do modelo. Assim, o próprio WEKA separa a relação em dez partes e realiza o treinamento do modelo dez vezes. Cada uma das vezes, uma das partes é utilizada para o teste do modelo.

O software então retorna uma equação e os resultados finais do processo, que são os erros encontrados pelo modelo, nas etapas de teste.

A equação encontrada pode ser observada abaixo:

$$P_{Max} = 7,7554 * Al - 0,1417 * P + 0,1173 * S - 0,0246 * S_{ref} - 0,1017 * T_a - 0,0185 * U_r + 0,0307 * V_r + 4,0118 \quad (2)$$

Além da equação, o WEKA também fornece alguns dados importantes para a análise dos resultados, que é o resumo do modelo, que pode ser observado na Figura 4.

A Eq. (2) é uma função linear de todos os atributos da relação: Albedo (Al), Precipitação total (P), Radiação solar incidente (S), Radiação solar refletida (S_{Ref}), Temperatura ambiente (T_a), Umidade relativa do ar (U_r), Velocidade do vento (V_v). Por ser uma função linear, acaba sendo mais simples do que a Eq. (1), e exige menos processamento.

Figura 4 – Resumo do modelo

```
Time taken to build model: 0.47 seconds

=== Cross-validation ===
=== Summary ===

Correlation coefficient           0.9979
Mean absolute error              1.5086
Root mean squared error         2.3409
Relative absolute error          5.1639 %
Root relative squared error      6.5393 %
Total Number of Instances       35027
Ignored Class Unknown Instances 1
```

Fonte: Autoria própria

Estes erros apresentados na seção “Model Output”, pelo próprio software, significam o erro entre o valor calculado pelo modelo e o valor da classe, que neste caso era o atributo P_{Max} . A aproximação possui erro médio baixo em relação aos valores da classe, em torno de 5%, o que possivelmente resulta em poucas perdas e viabiliza sua utilização, compensando perdas com economia de capacidade de processamento.

Esperava-se que os maiores coeficientes da equação fossem os da Radiação solar incidente (S) e Temperatura ambiente (T_a), pois são as mesmas variáveis da Eq. (1). Esta expectativa não se concretizou, e ao invés disso, conforme a Eq. (2), pode-se entender que o Albedo (capacidade de reflexão da radiação solar de uma superfície) aparenta ter maior influência na equação, seguido pela Precipitação total, Radiação solar incidente, e Radiação solar refletida, que são as variáveis da função que possuem os coeficientes com maiores módulos. O fato de a Precipitação total influenciar mais do que Radiação incidente e a Temperatura pode ser justificado pela premissa de que a Precipitação influencia diretamente nos outros dois.

CONCLUSÃO

Conforme visto nas imagens e nos resultados finais das análises, o software WEKA se mostrou de fato uma ferramenta eficiente na aproximação da potência P_{Max} , de saída do painel fotovoltaico. Dessa maneira, verifica-se que pode ser realmente uma boa ferramenta para a elaboração do algoritmo do SPMP, tendo em mente que este algoritmo influencia diretamente na eficiência do painel fotovoltaico. Além disso, outros fatores também incentivam a utilização de técnicas de *data mining*, como por exemplo a facilidade de manuseio dos dados, e

amplo leque de recursos, tanto algoritmos, quanto métodos de tratamento de dados.

Neste caso, levou-se em consideração um sistema com apenas uma placa. Em ocasiões em que se possua maior quantidade de placas, é possível que haja necessidade de um modelo mais simplificado, que permita o controle de painéis em grupos distintos, simultaneamente, reiterando a viabilidade deste tipo de técnica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Adriano Batista de. **Um modelo unificado para análise de geração distribuída nos sistemas de transmissão e distribuição**. 2015. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

CAGNINI, Paulo Roberto. **Desenvolvimento de uma plataforma experimental para aquisição de dados de geração fotovoltaica**. 2018. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11041/1/PB_COELT_2018_1_18.pdf. Acesso em: 25 jul. 2019

CECHINEL, Aurélio; YOSHIDA, Douglas Iha; SÁ, João Daniel. **Estudo da viabilidade econômica da implantação de células fotovoltaicas para iluminação a LED da estufa do jardim botânico de Curitiba**. 2014. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3216>. Acesso em: 29 jul. 2019

REZA, M. et al. **Investigating impacts of distributed generation on transmission system stability**. In: 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings. [S.l.: s.n], 2003. V. 2, p.1-7. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1304341/>. Acesso em: 28 jul. 2019

ROSSETTO, Felipe Crestani; VIALLE, Rodrigo Assunção. **Análise da qualidade de energia no ponto de conexão de inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2015. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3877>. Acesso em: 28 jul. 2019

SILVESTRI, Alessandro Frederico; TAKASAKI, Vinícius Garcia. **Estudo de viabilidade para implantação de geração fotovoltaica em shopping centers na região de Curitiba**. 2014. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3218/1/CT_COELE_2013_2_11.pdf. Acesso em: 28 jul. 2019