



CARACTERIZAÇÃO DE CURVAS I-V EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: UM ESTUDO EM CONDIÇÕES ADVERSAS

MOREIRA, L.L.A.¹; MENDES, L.J.V.¹; MOTA, N.S.¹; SANTOS, H.S.¹; FREITAS, I.S.O.²

¹Discente do curso superior em Engenharia Elétrica IFNMG – Campus Montes Claros; ²Docente do IFNMG – Campus Montes Claros.

Introdução

Nos dias atuais, há um aumento notável no número de usinas de micro e minigeração. A ANEEL através das resoluções normativas 481 e 482/2012 e 687/2015, fomentou o setor no âmbito da geração distribuída e centralizada. Isso tem levado ao crescente uso e estudo de painéis fotovoltaicos, visando otimizar sua eficiência. Uma metodologia importante para analisar esses painéis é a caracterização da curva corrente-tensão (I-V) (Figura 1A), que determina pontos cruciais, como a corrente de curto-circuito e a tensão de circuito aberto. Com base nisso, temos a curva potência-tensão (PV) (Figura 1B), que identifica o ponto de máxima potência do painel.

O estudo dessas curvas com auxílio de equipamentos, como os traçadores de curva I-V, é fonte de diversas análises. Trabalhos, como o desenvolvido por Wanquan *et al.* (2020), apresentam uma avaliação das curvas I-V sob a perspectiva de variações climáticas, enquanto que o trabalho desenvolvido por Zhu (2018) visa avaliar métodos para maior eficiência na obtenção das curvas I-V. O presente estudo tem por objetivo analisar a curva I-V de módulos fotovoltaicos em diferentes condições, incluindo módulos limpos e módulos com sombreamento e sujeira. O objetivo é avaliar como essas condições afetam o desempenho dos módulos em termos de sua geração.

Material e Métodos

Para avaliação da curva I-V, foi utilizado um módulo da JA SOLAR, modelo JAP72S01, e o traçador de curva I-V da HT Instruments, modelo I-V 500W, o qual é um equipamento multifuncional que traça as curvas características I-V e PV dos módulos fotovoltaicos. A etapa prévia aos ensaios consistiu na parametrização do equipamento com parâmetros do *datasheet* do módulo e a devida conexão com o mesmo. Para realização dos testes em campo, seguiu-se os padrões do capítulo 7 da NBR-16274, intitulada como procedimentos de ensaio (medição da curva I-V) – Categoria 2. Os testes foram realizados sob diferentes condições, incluindo sombreamento e sujeira, e as medições estão representadas na Figura 2. Após as avaliações, os dados foram transferidos para o software TopView, em um computador, para análise mais detalhada.

Resultados e Discussão

Através das medições, foram gerados gráficos que mostram a curva I-V para cada teste, representados na Figura 3. Essas medições incluem valores significativos, como a potência de pico (P_{max}), tensão de máxima potência (V_{mpp}), máxima corrente (I_{mpp}), tensão em circuito aberto (V_{oc}) e corrente de curto-circuito (I_{sc}). Todos esses valores estão listados na Tabela 1 para a comparação. O traçador de curva produz três curvas em cada gráfico: a primeira, denominada “nominal”, é determinada a partir de dados do *datasheet* do módulo para condições STC, a segunda seria a denominada “OPC” (do



inglês, *operation conditions*) que determina a curva I-V com base em parâmetros de irradiância e temperatura locais. Por fim, a curva STC, (do inglês, *standard test conditions*), é determinada a partir de um ajuste do comportamento da curva OPC para condições STC (irradiância: 1000 W/m², temperatura ambiente: 25°C e massa de ar AM 1,5), viabilizando assim a comparação da curva nominal com a STC. Resumidamente, deverá ser comparado a curva nominal (item esperado) com a curva STC (item medido), levando em conta a óptica das condições STC.

A análise revelou que, em todos os testes, a tensão V_{oc} para OPC é menor do que a nominal, devido a temperatura durante os ensaios ser superior aos 25°C, logo, haverá um efeito inversamente proporcional na tensão de saída, V_{oc} , comportamento esse demonstrado pelo coeficiente β . I_{sc} , por sua vez, apresentou um aumento visto que essa grandeza se eleva em função da elevação da temperatura, sendo esse um comportamento expresso pelo coeficiente α (Neves, 2016).

Para analisar o efeito de sujeira na placa fotovoltaica, observou-se que nessas condições a sujeira na vertical e horizontal produzem uma queda, em média, de 38% do rendimento em termos de entrega de potência se comparado ao nominal (Figuras 3C e 3D). No caso de células sombreadas de três fileiras do mesmo módulo, a curva I-V OPC apresenta uma queda extrema na geração de energia (90% de queda na potência), devido à configuração da placa, que faz com que os diodos de bloqueio atuem desviando o fluxo de corrente das áreas sombreadas direto para os terminais, como consequência temos a queda de potência, conforme apresentado na Figura 3B.

Considerações finais

Com a análise feita pôde-se verificar a degradação causada por condições de defeitos, degradação e sombreamento de módulos fotovoltaicos. Constatou-se, por exemplo, a perda significativa de potência quando houve sombreamento em três células completas, visto que estão conectadas em diferentes diodos de *bypass* do mesmo módulo, resultando em um décimo da potência nominal. A análise feita neste trabalho permite validar ou não a necessidade de uma intervenção assertiva, para possíveis melhorias no sistema fotovoltaico a ser analisado, visando sempre a otimização e entrega de potência dentro dos patamares esperados. A título de continuidade nos estudos cabe a investigação aprofundada da análise inversa, onde a partir das curvas serão investigadas as razões internas ao módulo que provocam o decaimento de potência.

Agradecimentos

Ao IFNMG, pelo suporte técnico quanto a equipamentos para desenvolvimento da pesquisa.

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16274**: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2018. 60 p.

NEVES, G. M. **Influência do espectro da radiação solar em módulos fotovoltaicos**. 2016. 240 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) – INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

WANQUAN, S.; NIRINGIYIMANA, E.; NDAYISHIMIYE, V. Analysis of Electrical Characteristics and Performance of Poly-Crystalline Solar PV Module by I-V Tester Under Temperature and Solar Irradiance Variation in Spring Season. **IEEE PES/IAS PowerAfrica**. p. 1-5, 2020.

ZHU, Y. An Adaptive I-V Curve Detecting Method for Photovoltaic Modules. **IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC)**. p. 1-6, 2018.

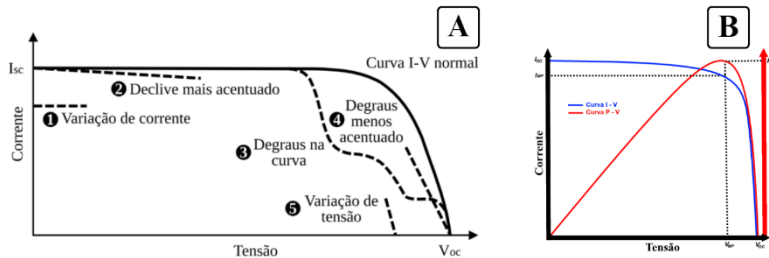


Figura 1. Curvas. Fig. 1A. Curva I-V e PV. Fig. 1B Variações da curva I-V. Acervo próprio (2023).



Figura 2. Ensaios. Fig. 2A. Módulo limpo. Fig. 2B. Três células sombreadas. Fig. 2C. Sujeira na horizontal. Fig. 2D. Sujeira na vertical. Acervo próprio (2023).

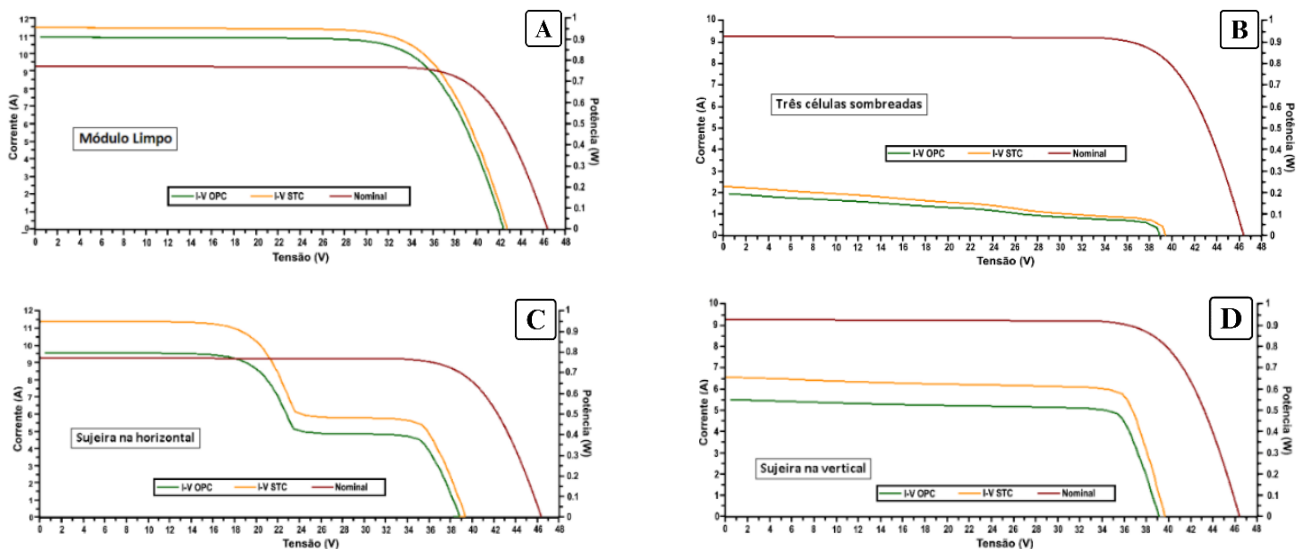


Figura 3. Curvas I-V. Fig. 3A. Módulo limpo. Fig. 3B. Três células sombreadas. Fig. 3C. Sujeira na horizontal. Fig. 3D. Sujeira na vertical. Acervo próprio (2023).

Tabela 1. Variáveis coletadas a serem comparadas (nominal vs STC)

	Resultado	P _{máx} [W]	V _{oc} [V]	V _{pm} [V]	I _{mp} [A]	I _{sc} [A]	Irrad.[W/m ²]	Temp.[°C]
	Nominal	330	46,4	37,65	8,77	9,28	1000	25
Módulo limpo	STC	356,78	42,72	33,45	10,67	11,45	1000	25
Três células sombreadas	STC	33,59	39,44	24,06	1,4	2,2	1000	25
Sujeira horizontal	STC	204,74	39,41	19,71	10,39	11,39	1000	25
Sujeira vertical	STC	207,19	39,65	34,7	5,97	6,5	1000	25

Fonte: acervo dos autores (2023).