

COMPARAÇÃO ENTRE CONEXÕES DE DIODOS BYPASS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SUBMETIDOS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO

COMPARISON BETWEEN BYPASS DIODE CONNECTIONS IN PHOTOVOLTAIC MODULES UNDER DIFFERENT SHADING CONDITIONS

Guilherme Samahá Bassanello Chagas¹
Evaldo Chagas Gouvêa²

Resumo – O sombreamento parcial em sistemas fotovoltaicos é uma das principais causas da baixa geração de energia e da ocorrência de pontos quentes, que podem reduzir a vida útil do sistema. Uma solução para reduzir seus efeitos é a utilização de diodos bypass, que podem ser instalados em diversas configurações. Neste trabalho compara-se o desempenho de 11 tipos de conexões de diodos bypass em um arranjo fotovoltaico. Indicadores de desempenho (Eficiência, Mismatch Loss e Power Enhancement) foram obtidos por meio de simulações no software LTspice, com o arranjo submetido a irradiâncias de 750, 450 e 250 W/m² e cinco padrões de sombreamento. Os resultados indicam que a Eficiência é mais alta e apresenta faixa de variação menor sob irradiância de 700 W/m² do que em 450 e 250 W/m². O Mismatch Loss tem comportamento semelhante à Eficiência. Por outro lado, o Power Enhancement é mais alto em 250 W/m² e próximo de zero à 700 W/m². No geral, as configurações de diodos bypass que utilizam apenas um diodo por módulo fotovoltaico apresentam o melhor desempenho; a presença de diodos adicionais, além dos conectados em paralelo com cada módulo, não melhora significativamente a geração de energia do arranjo sob sombreamento parcial.

Palavras-chave: Diodo bypass. Módulo fotovoltaico. Sombreamento parcial. Mismatch loss. Power enhancement.

Abstract - Partial shading in photovoltaic systems is one of the main causes of low power generation and hot spots, which may reduce the system's lifespan. One solution to minimize its effects is the use of bypass diodes, installed in different configurations. In this work the performance of 11 bypass diode configurations is compared. Performance indicators (Efficiency, Mismatch Loss, and Power Enhancement) are extracted from simulations using LTspice software; the photovoltaic array was subjected to 750, 450, and 250 W/m² of irradiance and five shading patterns. The results show that the Efficiency is higher and presents a smaller range under 700 W/m² of irradiance than under 450 and 250 W/m². The

¹ Engenheiro Eletricista, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Guaratinguetá, Faculdade de Engenharia e Ciências. Contato: guilherme.samaha@unesp.br.

² Doutor em Engenharia, Área de Materiais e Componentes Semicondutores (UNESP). Professor Assistente na UNESP, Campus de Guaratinguetá, Faculdade de Engenharia e Ciências. Contato: evaldo.gouvea@unesp.br.

Mismatch Loss behaves in a similar way as the Efficiency. On the other side, the Power Enhancement is higher at 250 W/m² and near zero at 700 W/m². In general, the bypass diode configurations with just one diode per module show the best performance; extra diodes, aside from those connected in parallel with each module, do not significantly increase the power generation under partial shading conditions.

Keywords: *Bypass diode. Photovoltaic module. Partial shading. Mismatch loss. Power enhancement.*

I. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os países que mais consomem energia elétrica, ocupando a sexta posição no ranking global, de acordo com dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2023 (ano-base 2022) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2023). O consumo e a produção de energia devem caminhar juntos para permitir o fornecimento adequado para as atividades de um país. No entanto, existem diversas modalidades de produção de energia elétrica, sendo algumas delas renováveis e outras não. Historicamente, a maior parcela da matriz energética brasileira é composta por fontes não renováveis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2022; PAULO JUNIOR; BARROS; SAMPAIO, 2021), sendo grande parcela consumida devido ao transporte, principalmente o rodoviário; por outro lado, as alternativas renováveis sempre estiveram presentes e estão a cada ano crescendo mais. Grande parte desse crescimento é devido à microgeração e minigeração de energias renováveis como a fotovoltaica (MOREIRA; SILVA; MATOS, 2023), permitidas pela resolução normativa nº 482 de 2012 da ANEEL.

Apesar do aumento da geração de energia elétrica fotovoltaica, ela é sensível a fatores ambientais, tais como nível de irradiância recebido na superfície dos módulos solares e temperatura ambiente (SOUZA; RESENDE; COSTA, 2022), assim como sombreamentos parciais causados, por exemplo, por objetos próximos, deposição de poeira e detritos. O sombreamento parcial é bastante prejudicial ao sistema fotovoltaico devido à perda de potência de saída e risco de danos aos módulos sombreados, pois a potência elétrica gerada e não consumida pelas cargas do sistema é dissipada pelos módulos sombreados (PINHO; GALDINO, 2014). Essa dissipação superaquece os módulos e, em certos casos, pode levar a um incêndio. Esse fenômeno de superaquecimento localizado é conhecido como *ponto quente (hot spot)*.

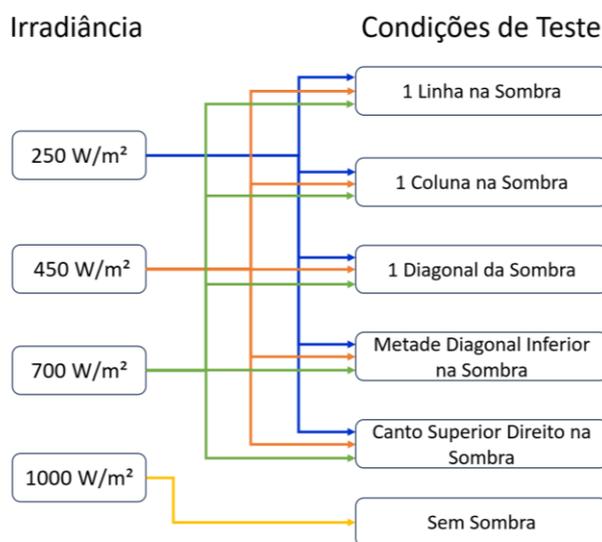
Existem diferentes técnicas que podem ser utilizadas para reduzir os efeitos nocivos do sombreamento parcial em sistemas fotovoltaicos. Entre elas, pode-se citar: diferentes formas de conexão dos módulos fotovoltaicos (KRISHNA; MOGER, 2021; SATPATHY; JENA; SHARMA, 2018); microinversores atuando individualmente em cada módulo do sistema (GODOI *et al.*, 2023; YUAN *et al.*, 2019); e instalação de diodos bypass (BHADORIA *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2021), que fornecem um caminho alternativo para a circulação de corrente em caso de sombreamento. Existem diversas formas de realizar a conexão dos diodos bypass em sistemas fotovoltaicos, além da forma convencional de conectar um diodo em paralelo com cada módulo. Cada uma pode apresentar um desempenho diferente em função do padrão de sombreamento e nível de irradiância sobre o arranjo fotovoltaico. A literatura geralmente apresenta informações sobre o desempenho de cada configuração de diodos bypass em função somente da potência máxima produzida pelo arranjo fotovoltaico; poucos trabalhos apresentam um comparativo empregando indicadores de desempenho em sistemas fotovoltaicos, tais como Eficiência, Mismatch Loss e Power Enhancement.

Este trabalho tem como objetivo comparar 11 tipos de conexões de diodos bypass em arranjos de módulos fotovoltaicos, submetidos a diferentes níveis de irradiância e padrões de sombra, para determinar a configuração que fornece maior potência para a carga. Indicadores de desempenho em sistemas fotovoltaicos são utilizados para analisar o comportamento de cada configuração.

II. PROCEDIMENTOS

Um arranjo fotovoltaico 4x4 foi simulado no software LTspice. Cada módulo fotovoltaico apresenta potência máxima (P_{MP}) de 300 W, tensão de circuito aberto (V_{OC}) de 44,71 V, corrente de circuito aberto (I_{SC}) de 8,947 A, tensão na P_{MP} de 37,23 V, corrente na P_{MP} de 8,06 A, coeficiente de variação da corrente com a temperatura de 0,05%/°C e coeficiente de variação da tensão com a temperatura de -0,34%/°C. O arranjo foi submetido a 4 níveis de irradiância e 6 padrões de sombreamento parcial, descritos na Figura 1.

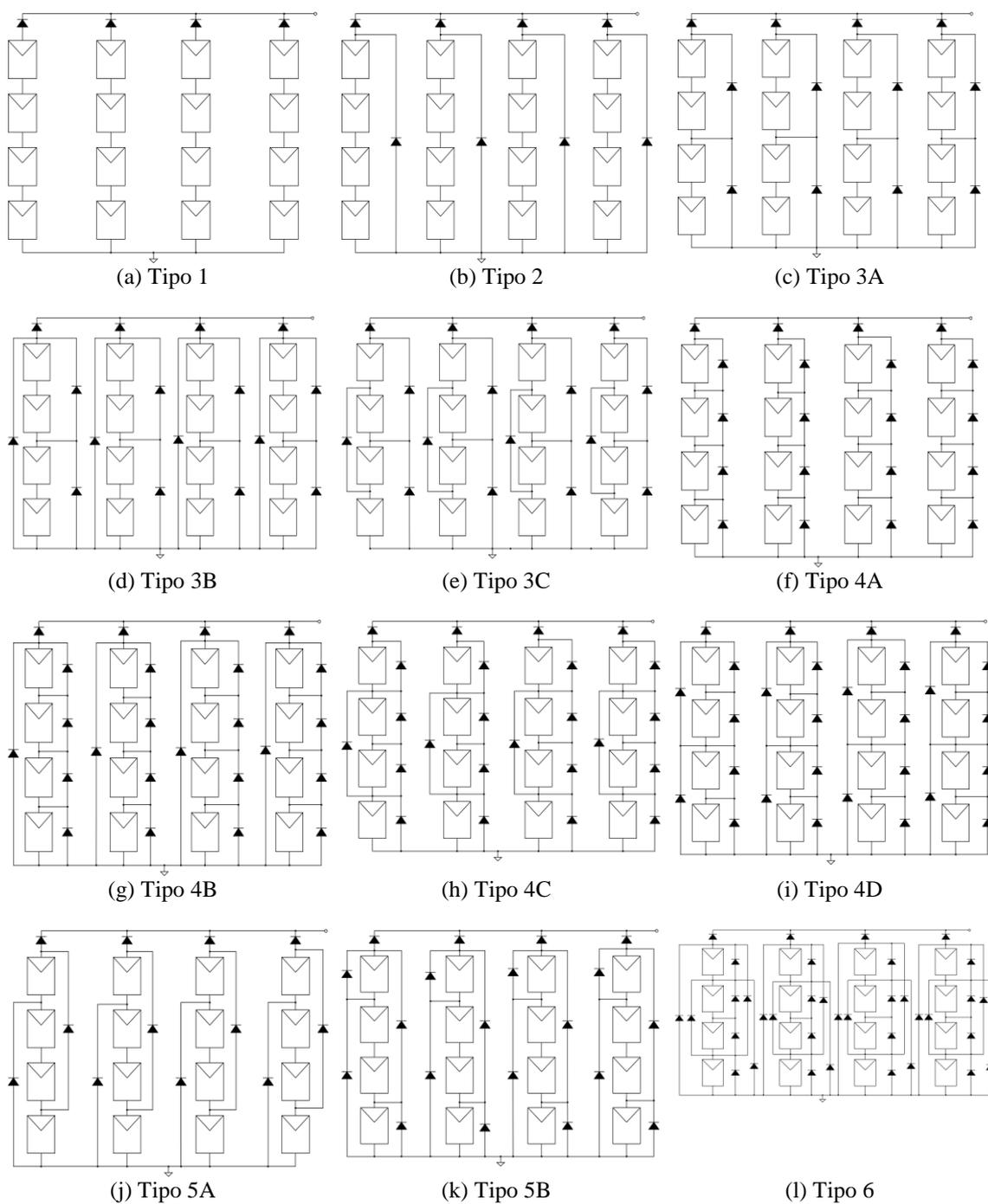
Figura 1 - Níveis de irradiância e padrões de sombreamento.



Fonte: Autores, 2024.

Os níveis de irradiância e padrões de sombreamento foram aplicados ao arranjo com 12 tipos de conexões de diodos bypass, sendo uma a condição-controle. As conexões foram divididas em 6 famílias, de acordo com características comuns entre elas. A família 1 é a conexão série-paralelo tradicional, usada como base para comparação dos resultados; a família 2 possui 1 diodo bypass por string do arranjo; a família 3 apresenta 1 diodo a cada dois módulos; a família 4 tem variações de 1 diodo por módulo fotovoltaico; a família 5 possui 2 diodos sobrepostos no arranjo; e a família 6 apresenta a configuração octal, composta pela combinação de vários tipos de conexões aplicados simultaneamente no arranjo. A Figura 2 exibe cada variação de conexão, de acordo com as respectivas famílias. Em todos os casos, foram empregados diodos de bloqueio em cada string, localizados na parte superior de cada string do arranjo.

Figura 2 - Tipos de conexões de diodos bypass: (a) sem diodo; (b) 1 diodo por string; (c) 1 diodo a cada 2 módulos; (d) 1 diodo a cada 2 módulos mais 1 por string; (e) 1 diodo a cada 2 módulos mais 1 no meio da string; (f) 1 diodo por módulo; (g) 1 diodo por módulo mais 1 por string; (h) 1 diodo por módulo mais 1 no meio da string; (i) 1 diodo por módulo mais 1 diodo a cada 2 módulos; (j) 2 diodos sobrepostos; (k) 2 diodos sobrepostos mais 1 diodo nas extremidades; (l) 8 diodos com configuração octal.



Fonte: Autores, 2024.

Três indicadores de desempenho foram utilizados para comparar os tipos de conexões de diodos: Eficiência, Mismatch Loss e Power Enhancement. A Eficiência de

conversão fotovoltaica relaciona a produção real de energia de um arranjo fotovoltaico com a produção ideal do arranjo sob as condições-padrão de teste (*standard test conditions, STC*): irradiância uniforme de 1000 W/m^2 e temperatura na superfície dos módulos de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Este indicador é definido pela equação (1), na qual η representa a Eficiência, P_{REAL} é a potência máxima gerada pelo arranjo em condições reais (com sombreamento parcial) e P_{STC} é a potência gerada nas condições-padrão de teste.

$$\eta (\%) = \frac{P_{REAL}}{P_{STC}} * 100 \quad (1)$$

O indicador Mismatch Loss compara as perdas de potência por descasamento, avaliando quanta potência foi perdida devido à ocorrência de sombreamento nos módulos do arranjo, em relação às condições ideais (STC). A equação (2) exhibe o cálculo do Mismatch Loss.

$$P_{Mismatch Loss} (\%) = \frac{P_{STC} - P_{REAL}}{P_{REAL}} * 100 \quad (2)$$

O indicador Power Enhancement avalia o ganho de potência gerado pelo arranjo com a conexão de diodos bypass ($P_{Máx Sombra com Diodo}$) em relação à condição sem os diodos ($P_{Máx Sombra sem Diodo}$), para um mesmo nível de irradiância e padrão de sombreamento. Sua expressão é dada pela equação (3).

$$P_{Power Enhancement} (\%) = \frac{P_{Máx Sombra com Diodo} - P_{Máx Sombra sem Diodo}}{P_{Máx Sombra sem Diodo}} * 100 \quad (3)$$

III. RESULTADOS

As Tabelas 1, 2 e 3 exibem a Eficiência de cada configuração de diodos bypass e padrão de sombreamento para irradiâncias de 250 W/m^2 , 450 W/m^2 e 700 W/m^2 , respectivamente. Pode-se notar que em irradiâncias mais altas a faixa de variação da Eficiência entre cada padrão de sombreamento é menor do que em irradiâncias mais baixas: à 700 W/m^2 , a Eficiência varia entre 71% e 92%, enquanto que para 450 W/m^2 a variação do indicador é maior, entre 45% e 85%. Para irradiância de 250 W/m^2 a faixa é ainda mais ampla, entre 24% e 80%. Outra característica é que, no geral, a Eficiência máxima do arranjo diminui conforme a irradiância diminui, ou seja, em sombreamentos mais intensos (como 250 W/m^2) o arranjo fotovoltaico tende a ter desempenho mais baixo.

Quando compara-se a Eficiência entre cada padrão de sombreamento, o padrão de uma coluna, seguido do canto superior direito, são os que apresentam os menores impactos negativos na capacidade de geração do sistema fotovoltaico, obtendo valores mais altos de Eficiência do que os demais padrões de sombreamento, em qualquer dos níveis de irradiância analisados.

Tabela 1 - Eficiência com irradiância de 250 W/m².

Sombreamento	Conexão											
	1	2	3A	3B	3C	4A	4B	4C	4D	5A	5B	6
Linha	27	27	49	49	52	74	74	74	74	40	40	74
Coluna	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Diagonal	27	27	49	49	51	74	74	74	74	32	48	74
Metade diagonal	24	24	31	31	31	33	33	33	33	24	33	33
Canto superior	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 2 - Eficiência com irradiância de 450 W/m².

Sombreamento	Conexão											
	1	2	3A	3B	3C	4A	4B	4C	4D	5A	5B	6
Linha	49	50	50	50	52	74	74	74	74	50	50	74
Coluna	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Diagonal	50	50	50	50	50	74	74	74	74	50	56	74
Metade diagonal	45	45	45	45	45	46	46	46	46	45	46	46
Canto superior	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 3 - Eficiência com irradiância de 700 W/m².

Sombreamento	Conexão											
	1	2	3A	3B	3C	4A	4B	4C	4D	5A	5B	6
Linha	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Coluna	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
Diagonal	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Metade diagonal	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
Canto superior	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86

Fonte: Autores, 2024.

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam o Mismatch Loss para irradiâncias de 250, 450 e 700 W/m², respectivamente. Nota-se que, de forma semelhante ao que ocorre com a Eficiência, em irradiância alta (700 W/m²) as perdas por descasamento são menores, variando entre 8% e 29%. Para 450 W/m², a faixa aumenta para 15% a 55% e, em irradiância baixa, de 250 W/m², o arranjo sofre maiores perdas, variando entre 20% e 73%. Em sombreamentos mais intensos (250 W/m²), as conexões de diodos bypass das famílias 4 e 6 são as que apresentam os melhores resultados, exibindo valores mais baixos de Mismatch Loss em relação aos demais tipos de conexões.

Os padrões de sombra que apresentam os piores resultados no geral, com maior perda por descasamento, são: metade diagonal inferior, uma linha e diagonal na sombra. Também é possível observar que à medida que a irradiância aumenta, os circuitos com diodos bypass exibem menor faixa de variação do Mismatch Loss, evidenciando que em condições de sombra menos intensas os tipos de conexão testados apresentam resultados próximos entre si.

Tabela 4 - Mismatch Loss com irradiância de 250 W/m².

Sombreamento	Conexão											
	1	2	3A	3B	3C	4A	4B	4C	4D	5A	5B	6
Linha	73	73	51	51	48	26	26	26	26	60	60	26
Coluna	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Diagonal	73	73	51	51	49	26	26	26	26	68	52	26
Metade diagonal	76	76	69	69	69	67	67	67	67	76	67	67
Canto superior	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 5 - Mismatch Loss com irradiância de 450 W/m².

Sombreamento	Conexão											
	1	2	3A	3B	3C	4A	4B	4C	4D	5A	5B	6
Linha	51	50	50	51	48	26	26	26	26	51	51	26
Coluna	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Diagonal	51	51	51	51	50	26	26	26	26	50	44	26
Metade diagonal	55	55	55	55	55	54	54	54	54	55	54	54
Canto superior	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 6 - Mismatch Loss com irradiância de 700 W/m².

Sombreamento	Conexão											
	1	2	3A	3B	3C	4A	4B	4C	4D	5A	5B	6
Linha	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Coluna	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Diagonal	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Metade diagonal	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Canto superior	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Fonte: Autores, 2024.

Nas Tabelas 7 e 8 são exibidos os valores de Power Enhancement para irradiâncias de 250 e 450 W/m², respectivamente. A conexão tipo 1 (sem diodo) é o caso de referência, por isso não é indicada nas Tabelas 7 e 8. O nível de irradiância de 700 W/m² apresentou Power Enhancement nulo em todos os casos.

Comparando os resultados para as irradiâncias de 250 e 450 W/m², percebe-se que a conexão tipo 2 foi a única que não apresentou incremento de potência de saída para nenhuma condição de sombra testada. Além disso, os circuitos das famílias 4 e 6 foram os que apresentaram os melhores resultados para as duas condições de irradiância, com Power Enhancement para sombreamentos em uma linha e em diagonal de até 177% com irradiância de 250 W/m² e até 50% sob irradiância de 450 W/m².

Também pode-se notar que quanto mais baixa a irradiância, maior o ganho de potência obtido pelos circuitos com diodos bypass. À 700 W/m², o Power Enhancement foi zero em todos os casos pois há uma pequena diferença na irradiância dos painéis fotovoltaicos sombreados em relação aos não-sombreados. Em relação ao padrão de sombreamento, as condições que geram mais potência de saída são, respectivamente, uma linha, diagonal e metade diagonal inferior. Além disso, os circuitos das famílias 3 e 5 apresentam aumentos de potência consideráveis com 250 W/m², porém Power Enhancement reduzido (ou zero) com irradiância de 450 W/m².

Tabela 7 - Power Enhancement com irradiância de 250 W/m².

Sombreamento	Conexão										
	2	3A	3B	3C	4A	4B	4C	4D	5A	5B	6
Linha	0	83	83	96	177	177	177	177	50	50	177
Coluna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diagonal	0	83	83	88	176	176	176	176	19	77	176
Metade diagonal	0	31	31	31	40	40	40	40	0	40	40
Canto superior	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 8 - Power Enhancement com irradiância de 450 W/m².

Sombreamento	Conexão										
	2	3A	3B	3C	4A	4B	4C	4D	5A	5B	6
Linha	0	0	0	5	50	50	50	50	0	0	50
Coluna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diagonal	0	0	0	2	50	50	50	50	0	13	50
Metade diagonal	0	0	0	0	2	2	2	2	0	2	2
Canto superior	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autores, 2024.

IV. CONCLUSÃO

Neste estudo, a comparação entre 11 conexões de diodos bypass em módulos fotovoltaicos, considerando diferentes condições de sombra, teve como objetivo determinar o tipo de conexão que fornece a maior potência para a carga. De modo geral, pode-se perceber que quanto maior o nível de irradiância sobre os módulos fotovoltaicos (irradiância de 700 W/m²), menor é a diferença de desempenho entre as conexões, cenário que se mostrou oposto em situação com sombras mais intensas (250 W/m²).

Analisando as configurações de diodos para valores de irradiância baixa (250 W/m²), nota-se que as conexões tipo 2 (1 diodo por string), 5A (2 diodos sobrepostos) e 5B (2 diodos sobrepostos mais 1 diodo nas extremidades) foram as que apresentaram os piores desempenhos para os padrões de sombra testados, com valores dos indicadores próximos aos do circuito 1, que não possui diodos. Os circuitos da família 3 (1 diodo a cada 2 módulos) apresentaram resultados intermediários e os circuitos da família 4 (1 diodo por módulo) e o circuito 6 (8 diodos com configuração octal) obtiveram os melhores resultados nos indicadores.

Em situação de irradiância média (450 W/m²), percebe-se uma maior uniformidade nos resultados, em que todos os tipos de conexões testadas fornecem valores de potência semelhantes. A exceção ocorre na família 4 e no circuito 6, que continuam sendo os arranjos que disponibilizam a maior potência de saída.

Com alta irradiância (700 W/m²) as diferenças de desempenho entre as conexões são muito pequenas, sendo que os valores obtidos apenas variam entre os tipos de sombra testados, e não mais pelo tipo de conexão dos diodos bypass utilizado.

Os circuitos das famílias 4 e 6 apresentaram o melhor desempenho global, levando em conta todos os padrões de sombra testados. Essas conexões possuem excelente rendimento mesmo nas situações de baixa irradiância. No entanto, ao comparar as potências fornecidas por cada variação dessas conexões, nota-se que todas obtiveram os mesmos resultados, indicando que a presença de diodos adicionais, além

dos conectados em paralelo com cada módulo, não resultam em melhoria significativa. No entanto, o circuito 4A (apenas 1 diodo por módulo) é mais vantajoso econômica e eletricamente por utilizar menos diodos que os demais desta família, o que facilita a conexão elétrica dos diodos bypass aos módulos e reduz custos. Entre as conexões testadas, os circuitos das famílias 4 e 6 foram os que apresentaram os melhores resultados com base nos indicadores Mismatch Loss e Power Enhancement, ainda que existam algumas condições de irradiância e sombra nas quais os circuitos das famílias 3 e 5 apresentem desempenhos razoáveis.

Por fim, a instalação de diodos bypass em sistemas fotovoltaicos aumenta o desempenho dos arranjos, porém com desempenho variável entre cada tipo de conexão. Instalar um diodo bypass em paralelo com cada módulo fotovoltaico ainda é a configuração com melhor desempenho geral, apesar de existirem diversas variações desta conexão. No entanto, a escolha da melhor configuração de diodos bypass para um sistema fotovoltaico específico depende tanto do nível quanto do padrão mais comum de sombra no local da instalação.

V. REFERÊNCIAS

- BHADORIA, V. S. *et al.* Investigation of different BPD placement topologies for shaded modules in a series-parallel configured PV array. **IEEE access: practical innovations, open solutions**, v. 8, p. 216911–216921, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3041715>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- SOUZA, J. M. S.; RESENDE, C. Z.; COSTA, W. T. Irradiance and temperature estimation in a typical photovoltaic system. **Revista Sodebras [on line]**, v. 17, n. 193, jan. 2022, p. 70-84. ISSN 1809-3957. Disponível em: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.193.70>. Acesso em: 14 jul. 2024.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2023 (ano base 2022)**. Brasília, DF: MME, 2023. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em: 17 nov. 2023.
- GODOI, R. R. *et al.* Comparison of string inverter and microinverters: A case study concerning energy yield and accuracy of MPPT algorithms. 2023 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). **Anais... IEEE**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/APEC43580.2023.10131561>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: IEA. **Brazil**, [2022]. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em 17 nov. 2023.
- KRISHNA, S.; MOGER, T. Investigation of power losses on solar photovoltaic array interconnections under mismatch conditions. **Technology and economics of smart grids and sustainable energy**, v. 6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40866-021-00117-8>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- MATOS, B. F. R.; SILVA, K. F.; MOREIRA, F. A. Análise de sistemas fotovoltaicos do IFBaiano e metodologia para estimar a geração de energia. **Revista Sodebras [on line]**, v. 18, n. 216, dez. 2023, p. 49-58. ISSN 1809-3957. Disponível em: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.2023.12.216.49>. Acesso em: 14 jul. 2024.
- PAULO JUNIOR, A.; BARROS, J. G. M; SAMPAIO, N. A. S. Panorama do setor energético brasileiro. **Revista Sodebras [on line]**, v. 16, n. 189, set. 2021, p. 84-87. ISSN 1809-3957. Disponível em: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.16.2021.189.84>. Acesso em: 17 nov. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014. 530 p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 04 maio 2023.

SATPATHY, P. R.; JENA, S.; SHARMA, R. Power enhancement from partially shaded modules of solar PV arrays through various interconnections among modules. **Energy**, v. 144, p. 839–850, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.090>. Acesso em: 28 nov. 2023.

XU, Q. *et al.* Studies on diode effects in photovoltaic array under partial shading condition. 2021 IEEE 4th International Conference on Renewable Energy and Power Engineering (REPE). **Anais... IEEE**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/REPE52765.2021.9617004>. Acesso em: 28 nov. 2023.

YUAN, J. *et al.* An overview of photovoltaic microinverters: Topology, efficiency, and reliability. 2019 IEEE 13th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG). **Anais... IEEE**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/CPE.2019.8862334>. Acesso em: 28 nov. 2023.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.