

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO ESTADO DO PARANÁ

Lisiane Sassi de Oliveira – sassiliane@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gerson Máximo Tiepolo – tiepolo@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia

Resumo. Com a necessidade do desenvolvimento sustentável e da diversificação da matriz elétrica brasileira para diminuir os impactos socioambientais, a utilização de fontes renováveis de energia pela sociedade cresce cada vez mais. A energia solar, por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR), é um exemplo de fonte de energia limpa e renovável em franca expansão. Estudos mostram que o Brasil tem um grande potencial de irradiação solar, entretanto, pouco se conhece sobre a produtividade dos SFVCR, em especial no Estado do Paraná, um dos maiores produtores de energia elétrica no país. A maior parte da geração elétrica paranaense é originada de hidroelétricas, devido à grande bacia hidrográfica existente na região. No entanto, a ampliação da utilização desta fonte está diminuindo por causa dos impactos ambientais, sociais e econômicos ocasionados pelo represamento de rios para formar grandes reservatórios. Diante desta perspectiva de se utilizar cada vez mais SFVCR, o objetivo dessa pesquisa foi estimar o desempenho desses sistemas nas diferentes regiões do Estado do Paraná. Considerou-se nesse estudo os diferentes níveis de temperatura média encontrados em todo o Estado e também diferentes tipos de tecnologias de células fotovoltaicas. Por meio da determinação dos valores de taxa de desempenho (TD), foi possível analisar o desempenho estimado dos SFVCR para diferentes tecnologias em função da temperatura média apresentada nos 399 municípios do Estado. Os resultados desta pesquisa mostram que os SFVCR com as tecnologias de filmes finos são os que apresentam as melhores taxas de desempenho, destacando-se a tecnologia de Telureto de Cádmio (CdTe). As maiores taxas de desempenho no Estado, por sua vez, encontram-se na mesorregião Sudeste e os menores valores na mesorregião Noroeste.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, Influência da Temperatura, Taxa de Desempenho.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade (ANEEL, 2008). Cada vez mais as pessoas têm acesso a eletrodomésticos e eletroeletrônicos por exemplo, consumindo assim mais energia elétrica. Só em 2016 no Brasil, a geração de energia elétrica em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 578,9 TWh (MME, 2017).

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 68,1 % da oferta interna (MME, 2017). Isso se deve ao fato do grande potencial hidrelétrico do país. Todavia, essa fonte de geração causa impactos ambientais consideráveis, porque vastas áreas são inundadas para a formação dos seus reservatórios de água para movimentar as turbinas dos geradores (Urbanetz, 2010).

Depois da fonte hidráulica, na participação da oferta interna de energia do Brasil, tem-se o gás natural (9,1 %), seguido da biomassa (8,2 %), eólica (5,4 %) e derivados do petróleo (3,7 %). A energia solar fotovoltaica, entretanto, possui baixa participação na matriz elétrica. Unidades geradoras de energia elétrica por meio da energia solar são escassas no Brasil, correspondendo com cerca de 0,01 % da oferta interna (MME, 2017).

Cada vez mais se percebe a necessidade de maior participação de fontes renováveis de energia na matriz elétrica brasileira, sendo os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) uma boa solução, porque apresentam um novo conceito de geração de energia limpa e renovável (Tiepolo *et al.*, 2013). Estudos mostram que o Brasil tem um grande potencial de irradiação solar (Pereira *et al.*, 2006). Entretanto pouco se conhece sobre a produtividade destes sistemas em diferentes climas, como os apresentados no Brasil em suas diversas regiões, e em especial no estado do Paraná. Desta forma, estudar o desempenho de SFVCR para diferentes tecnologias em função da temperatura média ambiente no estado contribuirá para que a participação da energia solar passe a ser mais expressiva na matriz elétrica do estado.

O tema sustentabilidade é corriqueiro na atualidade, e empresas que investem nesse tema são bem vistas no mercado. Entretanto, mesmo em tempos de preocupação com a sustentabilidade e o futuro do meio ambiente, a geração de energia elétrica por meio da energia solar ainda é pequena no país, embora muito promissora.

Conforme os Mapas Fotovoltaicos do Estado do Paraná (Tiepolo *et al.*, 2016), a produtividade média no estado do Paraná é aproximadamente 58,75 % superior à da Alemanha, 13,48 % superior à da Itália, 1,97 % superior à da Espanha, e 31,28 % superior à França, países onde o mercado de energia fotovoltaica se encontra muito bem consolidado. Ou seja,

essa forma de energia é extremamente competitiva no cenário paranaense e, portanto, deveria ser muito mais analisada e aproveitada.

Atualmente é também primordial que as fontes de energia obtenham o menor impacto ecológico possível, de forma a contribuir para um desenvolvimento sustentável conforme estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030 (ONU, 2015a).

2. METODOLOGIA

Para determinação do desempenho de SFVCR no estado do Paraná, foi elaborada uma base de dados de temperatura média mensal na resolução 10 km x 10 km, na mesma resolução do Atlas Brasileiro de Energia Solar, apenas para o Estado do Paraná, com dados interpolados de temperatura a partir da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) correspondente ao período de janeiro de 1999 à dezembro de 2010 (INMET, 2017).

Fez-se também um levantamento de diversos *datasheets* (folha de dados) de fabricantes de Painéis Fotovoltaicos de diversas tecnologias como: Silício monocristalino; Silício policristalino; Telureto de cádmio; Silício amorfo e Disseleneto de cobre índio gálio. Estabeleceu-se três fabricantes para cada tecnologia, pesquisados através do site da ENF Solar (2017), que reúne uma base de dados de diversas empresas fabricantes de módulos fotovoltaicos. Foram escolhidos painéis fotovoltaicos com potências iguais (ou próximas) para melhor confiança das informações e calculada a média dos coeficientes de variação da potência com a temperatura γ coletados, conforme apresentado na Tab. 1.

Tabela 1 – Médias dos coeficientes de temperatura dos três *datasheets* pesquisados por tecnologia

Tecnologia	Potência média utilizada (W)	Coef. Temp Pmax médio utilizado (%/°C)
Silício Monocristalino (m-Si)	300	(-)0,39
Silício Policristalino (p-Si)	270	(-)0,44
Telureto de cádmio (CdTe)	80	(-)0,24
Silício Amorfo (a-Si)	100	(-)0,27
Disseleneto de Cobre Índio Gálio (CIGS)	100	(-)0,36

Foram utilizados os dados de dois *datasheets* de fabricantes de inversores: EcoSolys e Fronius, sem transformador e o com transformador respectivamente, conforme a Tab. 2. Existem regulamentações vigentes em alguns países que exigem a separação galvânica entre o lado de corrente contínua e o lado de corrente alternada. Para essa separação, utiliza-se inversores com transformador. Também para a grande maioria de módulos de filmes finos, são necessários inversores com transformador, porque sem separação galvânica, surge um potencial capaz de provocar nesses módulos uma corrosão elétrica, danificando suas células (Rampinelli *et al.*, 2013).

Para os painéis fotovoltaicos com tecnologias de silício monocristalino e silício policristalino escolheu-se utilizar inversores sem transformador. Já para tecnologias de telureto de cádmio, silício amorfo e disseleneto de cobre índio gálio, teve-se a necessidade de utilizar um inversor com transformador conforme descrito anteriormente.

Tabela 2 – Especificações técnicas dos inversores utilizados

Tecnologia	Inversor	Transformador	Potência Máxima de saída(W)	Eficiência (%)
Silício Monocristalino (m-Si)	EcoSolys Ecos 2000	Sem	2000	96,6
Silício Policristalino (p-Si)	EcoSolys Ecos 2001	Sem	2000	96,6
Telureto de cádmio (CdTe)	Fronius Galvo 2.0-1	Com	2140	96
Silício Amorfo (a-Si)	Fronius Galvo 2.0-2	Com	2140	96
Disseleneto de Cobre Índio Gálio (CIGS)	Fronius Galvo 2.0-3	Com	2140	96

Quantificou-se as perdas em um SFVCR de acordo com o estudo feito pela Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS, 2013) mostrado na Fig. 1, na qual se tem os seguintes fatores de perdas: Sombreamento; Sujidade; Reflexão; Variação do espectro AM 1.5; *Mismatch* (descasamento); Condições diferentes das padrões de teste; Perdas c.c; Perdas na conversão de energia; Perdas no inversor e Perdas na fiação elétrica.

Para o estudo, considerou-se todos os fatores de perdas acima citados com as suas respectivas porcentagens de perdas, excluindo-se:

- Sombreamento: considerou-se instalações na cobertura das edificações (Sem Sombreamento);
- Perdas no inversor: obteve-se as perdas dos *datasheets* dos inversores utilizados;
- Condições diferentes das padrões de teste: foi feito um estudo específico das perdas por temperatura como será visto na sequência.

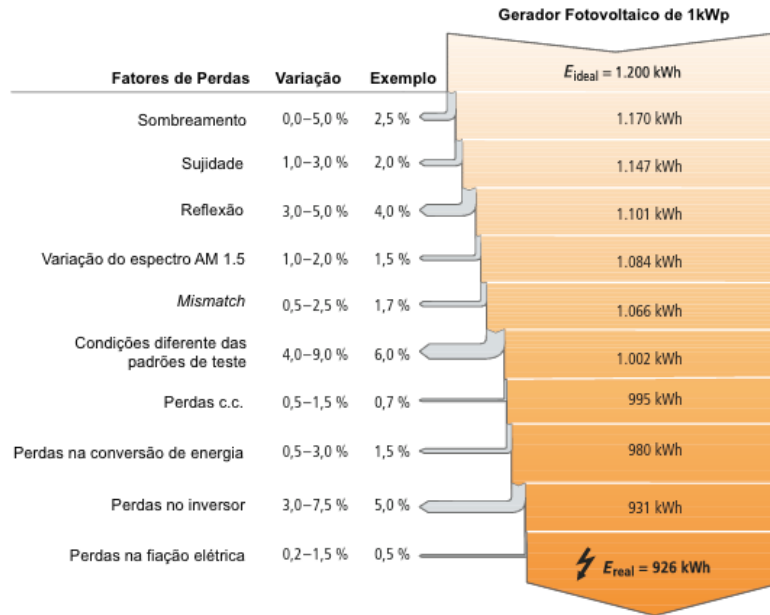


Figura 1 - Fatores de perdas de um SFVCR

Fonte: Araújo *et al.*, 2016

Segundo Zilles *et al.* (2012), a temperatura ambiente (T_a) é um fator que determina a temperatura de operação das células FV (T_c), a qual pode ser calculada a partir da Eq. (1) que é bastante utilizada para calcular a temperatura de célula a partir da temperatura ambiente:

$$T_c = T_a + G/800 * (T_{NOCT} - 20) \quad (1)$$

onde G é a irradiância solar incidente no plano do gerador FV (W/m^2) e T_{NOCT} é a temperatura nominal de operação da célula FV (valor fornecido pelo fabricante).

Com a T_c , pode-se calcular a máxima potência P_{mp} , conforme a Eq. (2):

$$P_{mp} = P_{oFV} * G/G_{ref} [1 - \gamma_{mp}(T_c - T_{c,ref})] \quad (2)$$

onde P_{oFV} é a potência nominal do gerador fotovoltaico (Wp); G_{ref} é a irradiância solar de referência (1.000 W/m^2 para massa de ar igual a 1,5), $T_{c,ref}$ é a temperatura na célula de referência (25°C em condições de teste padrão (STC)) e γ_{mp} é o coeficiente que relaciona a variação da potência no ponto de máxima potência com a temperatura.

Ao se projetar uma instalação fotovoltaica, é comum estimar a produção de energia elétrica ignorando os efeitos de variação da irradiância a cada instante. Considera-se a totalidade de energia elétrica convertida em intervalos de tempo. Para isso, expressa-se o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia, chamado de número de Horas de Sol Pleno (HSP), que mostra os números de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1000 W/m^2 (CRESESB, 2014).

Seguindo o conceito de HSP e devido à dificuldade de se encontrar dados de irradiância e de temperatura em vários instantes de tempo ao longo do ano em todo o território do estado na resolução espacial que este trabalho realizou, optou-se nesta pesquisa em se utilizar uma simplificação da formulação, considerando a irradiância de 1.000 W/m^2 para se calcular a T_c e a P_{mp} e assim obter a porcentagem de perdas por temperatura dos painéis fotovoltaicos, considerando desta forma que o inversor estará trabalhando durante este período a plena carga.

Já por meio do estudo feito pela Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS, 2013), que pode ser visualizado na Fig. 2, tem-se que para um sistema instalado junto ao telhado de uma edificação, observa-se uma maior temperatura no módulo fotovoltaico do que num sistema instalado com uma boa ventilação. Com isso, considera-se a temperatura na célula a partir da temperatura ambiente por meio da seguinte regra:

Para módulos fotovoltaicos instalados com aplicação direta a edificação (sem ou muito pouca ventilação), considera-se um aumento de temperatura em relação a T_a de 43°C , onde a T_c é resultante da Eq. (3):

$$T_c = T_a + 43^\circ \quad (3)$$

Para módulos fotovoltaicos instalados com ventilação, considera-se um aumento de temperatura em relação a T_a de 29°C , onde a T_c é resultante da Eq. (4):

$$T_c = T_a + 29^\circ \quad (4)$$

Logo, pode-se calcular a perda de potência do módulo em função da temperatura ($Perda_{temp}$) pela Eq. (5).

$$Perda_{temp} = \gamma * (T_c - 25^\circ) \quad (5)$$

onde γ é o coeficiente que relaciona a variação da potência no ponto de máxima potência com a temperatura, e 25° é a T_c em condições STC.

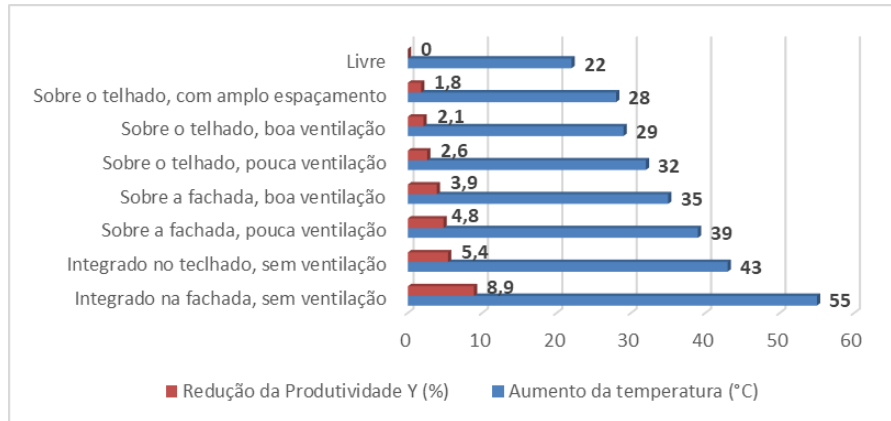


Figura 2 - Aumento da temperatura e redução no produtividade (índice *yield*) de acordo com o modo de instalação do painel fotovoltaico.

Fonte: Adaptado de DGS, 2013

Considerando essas premissas, considerou-se três frentes de simulações:

- Simulação 1: Efeito do aumento de temperatura na célula por meio do cálculo de T_c de acordo com a Eq. (1) e Eq. (2).
- Simulação 2: Efeito do aumento de temperatura na célula de 29°C para painéis instalados com ventilação.
- Simulação 3: Efeito do aumento de temperatura na célula de 43°C para painéis instalados com aplicação direta a edificação (sem ou muito pouca ventilação).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Simulação 1, calculando-se a T_c para os painéis das diferentes tecnologias, obteve-se os seguintes valores de taxa de desempenho (TD) apresentados nas Mesorregiões do Estado do Paraná conforme apresentado na Tab. 3 e na Fig. 3, com base nas perdas médias apresentadas na Fig. 1:

Tabela 3 - Taxa de Desempenho Anual em percentual conforme Simulação 1

Taxa de Desempenho anual (%)					
Mesorregião	m-Si	p-Si	CdTe	a-Si	CIGS
1 - Metropolitana	73.73 %	72.43 %	77.46 %	76.48 %	74.16 %
2 - Sudeste	73.85 %	72.57 %	77.54 %	76.56 %	74.26 %
3 - Centro Oriental	73.67 %	72.36 %	77.43 %	76.43 %	74.10 %
4 - Centro Sul	73.64 %	72.32 %	77.41 %	76.41 %	74.07 %
5 - Sudoeste	73.55 %	72.22 %	77.35 %	76.35 %	73.99 %
6 - Oeste	73.35 %	72.00 %	77.23 %	76.21 %	73.80 %
7 - Centro Ocidental	73.19 %	71.83 %	77.14 %	76.10 %	73.67 %
8 - Norte Pioneiro	73.01 %	71.62 %	77.02 %	75.97 %	73.50 %
9 - Norte Central	72.85 %	71.44 %	76.93 %	75.86 %	73.35 %
10 - Noroeste	72.77 %	71.36 %	76.88 %	75.81 %	73.28 %

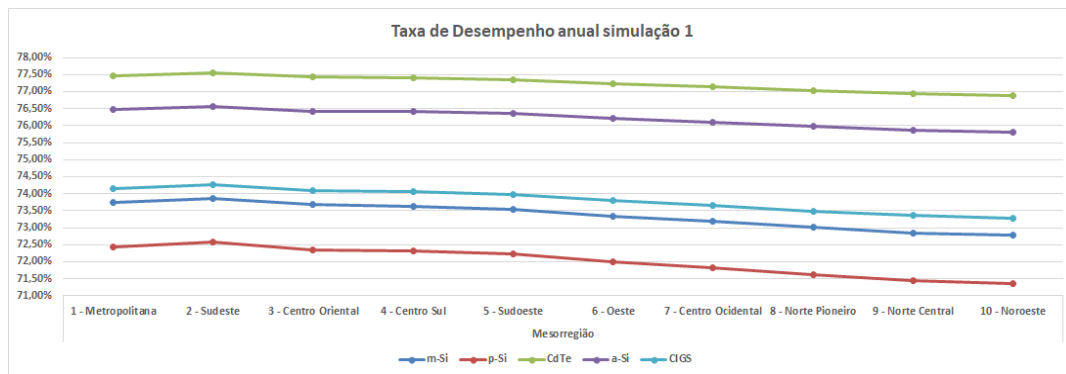


Figura 3 - Taxa de Desempenho Anual Simulação 1

Para a Simulação 1, considerando a tecnologia de silício policristalino, foram encontrados os respectivos valores de temperatura média e taxa de desempenho:

- Menor valor de temperatura média anual: 19,70 °C na cidade de Campo Magro, na mesorregião Metropolitana;
- Maior valor de temperatura média anual: 23,75 °C na cidade de Jardim Olinda, na Mesorregião Noroeste;
- Média de temperatura média anual do Paraná: 21,67 °C;
- Menor valor de taxa de desempenho anual: 70,95 % na cidade de Jardim Olinda, na Mesorregião Noroeste;
- Maior valor de taxa de desempenho anual: 72,73 % na cidade de Campo Magro, na Mesorregião Metropolitana;
- Média de taxa de desempenho anual no estado: 71,86 %.

Ao se analisar a Fig. 3, pode-se verificar que os menores valores de TD são encontrados na mesorregião Noroeste, independentemente da tecnologia utilizada, com uma média de 74,02 %. Já os maiores valores de TD são encontrados na mesorregião Sudeste, independentemente da tecnologia utilizada, com uma média de 74,96 %.

Simulando a temperatura na célula em 29 °C a mais em relação a temperatura ambiente, para a Simulação 2, obteve-se os seguintes valores de TD apresentados nas Mesorregiões no estado conforme apresentado na Tab. 4 e na Fig. 4, com base nas perdas médias apresentadas na Fig. 2:

Tabela 4 - Taxa de Desempenho Anual em percentual conforme Simulação 2

Mesorregião	m-Si	p-Si	CdTe	a-Si	CIGS
1 - Metropolitana	75.11 %	73.97 %	78.30 %	77.44 %	75.40 %
2 - Sudeste	75.23 %	74.11 %	78.37 %	77.52 %	75.51 %
3 - Centro Oriental	75.05 %	73.90 %	78.26 %	77.39 %	75.35 %
4 - Centro Sul	75.01 %	73.86 %	78.24 %	77.37 %	75.32 %
5 - Sudoeste	74.92 %	73.76 %	78.18 %	77.31 %	75.23 %
6 - Oeste	74.72 %	73.54 %	78.06 %	77.17 %	75.05 %
7 - Centro Ocidental	74.57 %	73.37 %	77.97 %	77.06 %	74.91 %
8 - Norte Pioneiro	74.38 %	73.16 %	77.86 %	76.93 %	74.74 %
9 - Norte Central	74.22 %	72.90 %	77.76 %	76.82 %	74.60 %
10 - Noroeste	74.15 %	72.90 %	77.72 %	76.77 %	74.53 %

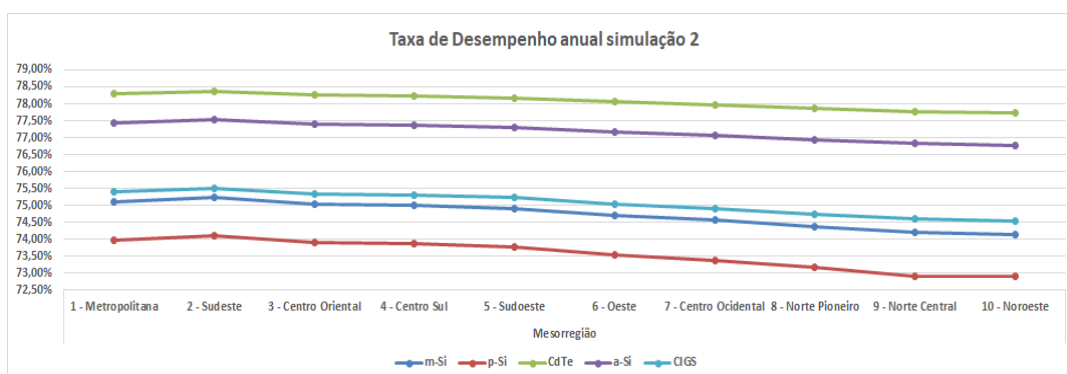


Figura 4 - Taxa de Desempenho Anual simulação 2

Na Simulação 2, foram encontrados os mesmos valores de temperatura média da Simulação 1. Analisando-se as taxas de desempenho para a tecnologia de silício policristalino obtidas nesta simulação, chega-se aos seguintes resultados:

- Menor valor de taxa de desempenho anual: 72,49 % na cidade de Jardim Olinda, na Mesorregião Noroeste;
- Maior valor de taxa de desempenho anual: 74,27 % na cidade de Campo Magro, na Mesorregião Metropolitana;
- Média de taxa de desempenho anual do Paraná: 73,40 %.

De acordo com os dados observados na Fig. 4, independentemente da tecnologia utilizada, os menores valores de TD são encontrados na mesorregião Noroeste com uma média de 75,21 % e os maiores valores de TD são encontrados na mesorregião Centro Oriental com uma média de 75,99 %.

Na Simulação 3, considerando a T_c em 43 °C a mais em relação à temperatura ambiente, para os painéis das diferentes tecnologias, os seguintes valores de TD foram apresentados em mesorregiões na Tab. 5 e na Fig. 5, com base nas perdas médias apresentadas na Fig. 2:

Tabela 5 - Taxa de Desempenho Anual em percentual conforme simulação 3

Taxa de Desempenho anual simulação 3					
Mesorregião	m-Si	p-Si	CdTe	a-Si	CIGS
1 - Metropolitana	69.60 %	67.81 %	74.97 %	73.61 %	70.41 %
2 - Sudeste	69.72 %	67.95 %	75.04 %	73.69 %	70.52 %
3 - Centro Oriental	69.54 %	67.74 %	74.93 %	73.56 %	70.35 %
4 - Centro Sul	69.51 %	67.70 %	74.91 %	73.54 %	70.32 %
5 - Sudoeste	69.42 %	67.60 %	74.85 %	73.48 %	70.24 %
6 - Oeste	69.22 %	67.38 %	74.73 %	73.34 %	70.06 %
7 - Centro Ocidental	69.06 %	67.21 %	74.64 %	73.23 %	69.92 %
8 - Norte Pioneiro	68.88 %	67.00 %	74.52 %	73.10 %	69.75 %
9 - Norte Central	68.72 %	66.82 %	74.43 %	72.99 %	69.61 %
10 - Noroeste	68.64 %	66.74 %	74.38 %	72.94 %	69.54 %

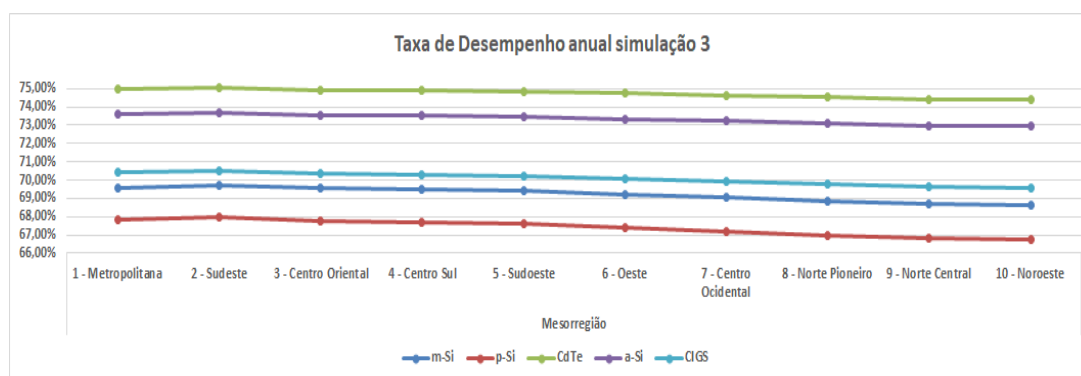


Figura 5 - Taxa de Desempenho Anual simulação 3

Para a Simulação 3 com a tecnologia de silício policristalino, foram encontrados os mesmos valores de temperatura média da Simulação 1 e os seguintes valores de taxa de desempenho:

- Menor valor de taxa de desempenho anual: 66,33 % na cidade de Jardim Olinda, na Mesorregião Noroeste;
- Maior valor de taxa de desempenho anual: 68,11 % na cidade de Campo Magro, na Mesorregião Metropolitana;
- Média de taxa de desempenho anual do Paraná: 67,24 %.

Ao se observar a Fig. 5, pode-se verificar que os menores valores de TD são encontrados na Mesorregião Noroeste, independentemente da tecnologia utilizada, com uma média de 70,45 %. Já os maiores valores de TD são encontrados na Mesorregião Sudeste, independentemente da tecnologia utilizada, com uma média de 71,38 %.

Para melhor exemplificar os resultados obtidos nas três simulações mostradas, tem-se o mapa das taxas de desempenho obtidas em relação a temperatura média ambiente, dividido de acordo com as mesorregiões do Estado do Paraná, que pode ser visto na Fig. 6.

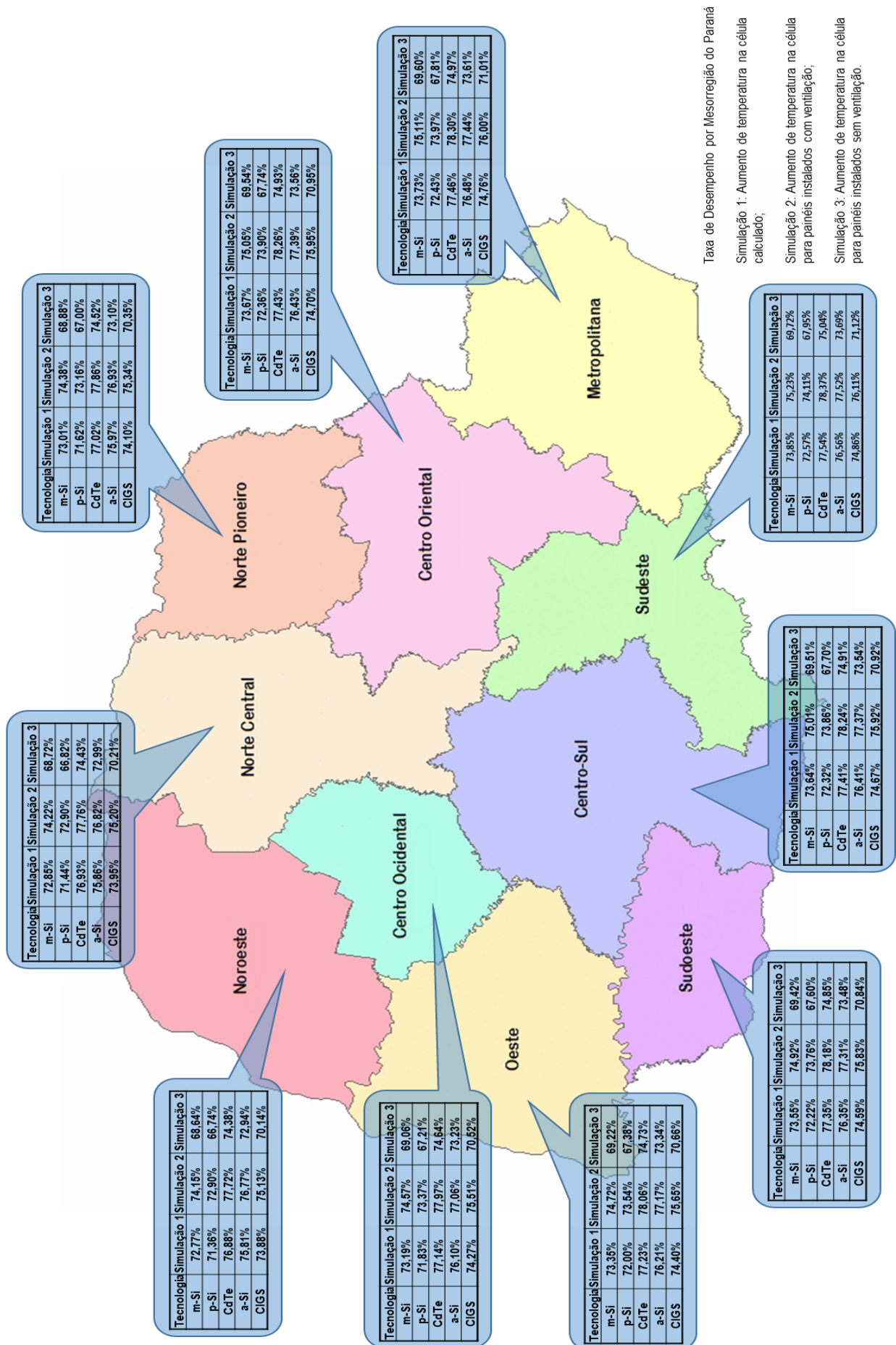


Figura 6 - Mapa das taxas de desempenho obtidas em relação a temperatura média ambiente por mesorregião do Paraná

Para validação dos resultados obtidos, considerou-se os dados obtidos no trabalho elaborado por Tonin (2017) no SFVCR no Escritório Verde (EV) da UTFPR - Módulos instalados sobre o telhado da edificação, com pouca ventilação abaixo dos módulos.

A Tab. 6 mostra as porcentagens das taxas de desempenho mensais, anuais e seus respectivos valores médios para o SFVCR do EV em comparação os percentuais da taxa de desempenho estimados da cidade de Curitiba, na Mesorregião Metropolitana de Curitiba, para a tecnologia de silício policristalino, obtidas através do primeiro e do terceiro método de simulação respectivamente: Cálculo do aumento da temperatura da célula em relação a temperatura ambiente e aumento da temperatura da célula em 43 °C (Instalação dos painéis sem ou com muito pouca ventilação).

O comparativo entre as medições do SFVCR e os valores teóricos da TD analisa a diferença percentual entre a média das taxas aferidas no período com o valor calculado para o mesmo período.

Tabela 6 - Comparação entre os valores de TD das Simulações 1 e 3 com a TD do EV

Mês	Taxa de Desempenho (%)									
	EV						Simulação 1	Δ Média EV / Simulação 1	Simulação 3	Δ Média EV / Simulação 3
	2012	2013	2014	2015	2016	Média				
Janeiro	74,59	67,54	76,74	65,41	72,52	71,36	70,91	0,63	66,29	7,10
Fevereiro	71,89	67,58	87,99	66,35	71,84	73,13	70,64	3,40	66,02	9,72
Março	75,46	69,12	65,94	68,39	72,23	70,23	70,86	0,90	66,24	5,68
Abril	74,32	65,74	73,01	68,59	70,94	70,52	72,02	2,13	67,4	4,42
Maio	70,52	67,57	71,15	69,22	72,38	70,17	74,06	5,55	69,44	1,04
Junho	77,29	68,53	74,68	69,01	83,54	74,61	74,3	0,42	69,68	6,61
Julho	78,62	67,64	79,77	59,08	74,52	71,93	74,63	3,76	70,01	2,66
Agosto	63,4	65,88	65,47	61,13	72,78	65,73	74,2	12,88	69,58	5,85
Setembro	68,11	75,84	62,2	66,91	76,98	70,01	73,73	5,32	69,11	1,28
Outubro	66,13	75,92	62,57	74,43	73,51	70,51	73,04	3,59	68,42	2,97
Novembro	66,24	70,93	64,72	62,66	76,09	68,13	72,13	5,87	67,51	0,91
Dezembro	66,33	56,26	64,55	65,05	74,73	65,38	71,23	8,94	66,61	1,88
Anual	71,33	68,21	70,73	66,27	74,34	70,18	72,65	3,53	68,03	3,06

Fonte: Oliveira (2017); Tonin (2017)

Ao analisar a Tab. 6, verifica-se que as taxas de desempenho anuais obtidas pelo método da Simulação 1 e pelo método da Simulação 3 (módulo pouco ventilado), estão coerentes quando comparadas com a média dos dados obtidos no SFVCR do EV da UTFPR ao longo dos anos 2012 até 2016, onde foram apresentadas diferenças de 3,53 % e 3,06 % respectivamente.

4. CONCLUSÃO

Através da obtenção dos valores de temperatura média mensal dos 399 municípios do Estado do Paraná, pode-se observar que os menores valores encontram-se no leste do Estado, nas mesorregiões Metropolitana de Curitiba, Sudeste e Centro Oriental do Paraná. Os maiores valores encontram-se nas mesorregiões Noroeste e Norte Central do Estado.

Estimando-se a taxa de desempenho, a partir de três simulações, pode-se verificar que as maiores taxas de desempenho no Estado, independentemente da tecnologia da célula utilizada no SFVCR, encontram-se na mesorregião Sudeste e as menores taxas de desempenho na mesorregião Noroeste do estado.

Os resultados das simulações mostraram que os SFVCR com as tecnologias de filmes finos são as que apresentam as maiores taxas de desempenho, sendo a tecnologia de telureto de cádmio (CdTe) a com os maiores valores de taxa de desempenho. Já a tecnologia de silício policristalino (p-Si) apresentou os menores valores de taxa de desempenho.

Comparando-se os resultados obtidos das simulações com os dados das taxas de desempenho medidas no SFVCR do EV da UTFPR, obteve-se a confirmação que os resultados encontrados nas simulações podem ser considerados para futuras projeções de geração de energia elétrica de SFVCR. Entretanto, novas pesquisas devem ser consideradas de forma a confirmar e refinar os valores estimados por este trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) pelo apoio e infraestrutura oferecidos para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008. “Atlas de energia elétrica do Brasil”, Brasília, 3ª Edição, ISBN: 978-85-87491-10-7. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acessado em novembro 2017.
- Araújo, A. J. N.; Bueno, T. B. A.; Rank, N. I., 2016. “Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba”. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.
- CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014. “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: Novembro, 2017.
- DGS - German Solar Energy Society. Planning and Installing Photovoltaic Systems, 2013.
- ENF Solar, 2017 “Datasheet dos painéis fotovoltaicos”. Disponível em <<https://www.enfsolar.com/directory/panel>>. Acesso em: Agosto, 2017
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, 2017 “Base de dados de temperatura média dos municípios do Paraná”. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>.
- MME, Ministério de Minas e Energias, 2017. “Balanço Energético Nacional 2017: ano base 2016”. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2017&anoFimColeta=2016>>. Acessado em novembro 2017.
- Oliveira, Lisiane S. de, 2017. “Análise do Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede em Função da Temperatura Média no Estado do Paraná”. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.
- ONU, Organização das Nações Unidas, 2015. “Transformando Nosso Mundo: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: Novembro, 2017.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Ruther, R., 2006. “Atlas Brasileiro de Energia Solar”, São José dos Campos, 1ª Edição.
- Rampinelli G., Krenzinger A., Romero F. “Descrição e Análise de Inversores Utilizados em Sistemas Fotovoltaicos”, Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013.
- Tiepolo, G., Urbanetz, J., Cancigliari, O., 2013. “Inserção da Energia Fotovoltaica na Matriz Elétrica do Estado do Paraná: Análise do Potencial Produtivo”, Revista SODEBRAS, Volume 8, nº 87, Edição Março, ISSN 1809-3957.
- Tiepolo, G. M., Urbanetz JR, J., Pereira, E. B., Pereira, S. V., Alves, A. R., 2016. “Comparação do potencial fotovoltaico do Estado do Paraná com Outros Estados e Europa – Resultados Parciais”. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte.
- Tonin, Fabianna Stumpf, 2017. “Caracterização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, na cidade de Curitiba”. 2017. 131 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.
- Urbanetz, J., 2010. “Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade”, Tese de doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC.
- Zilles, R., Macêdo, W., Galhardo, M., Oliveira, S., 2012. “Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica”. Oficina de Ideias. São Paulo.

PERFORMANCE ANALYSIS OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS AS A FUNCTION OF AVERAGE TEMPERATURE IN THE STATE OF PARANÁ

Abstract. *The need for sustainable development and for the diversification of the Brazilian energy mix in order to reduce socio-environmental impacts has caused a growth in the use of renewable energy sources. Solar energy through grid-connected photovoltaic systems (GCPS) is an example of a booming clean and renewable energy source. Studies show that Brazil has a great solar radiation potential, however, little is known about the productivity of GCPS, especially in the State of Paraná, one of the biggest electricity producers in the country. Most of Paraná's electricity generation originates from hydroelectric plants due to the large river basin in the region. On the other hand, the expansion of this source in the energy mix is decreasing because of the environmental, social and economic impacts caused by the impoundment of rivers to form large reservoirs. Given this prospect of increasingly using GCPS, the objective of this research was to estimate the performance of these systems in different regions of the State of Paraná. Different levels of irradiation and temperature found throughout the state and also different types of photovoltaic cells technologies were taken in consideration in this study. The determination of the performance ratio values made it possible to analyze the estimated performance of GCPS for different technologies as a function of the average temperature presented in the 399 cities of the State. The results of this research show that the GCPS with thin film technologies are the ones with the highest*

performance ratios, especially the Cadmium telluride (CdTe) technology. The highest performance ratios in the State are located in the Southeast mesoregion and the lowest values in the Northwest mesoregion.

Key words: *Grid-Connected Photovoltaic System, Temperature Influence, Performance Ratio.*