

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

RAÍ AUGUSTO SILVA

**ESTUDO DE DESEMPENHO DE MICRO GERAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE NA REGIÃO DE CORNÉLIO
PROCÓPIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020

RAI AUGUSTO SILVA

**ESTUDO DE PERFORMANCE DE MICRO GERAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE NA REGIÃO DE CORNÉLIO
PROCÓPIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELT, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Edson Luis Bassetto

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Raí Augusto Silva

ESTUDO DE PERFORMANCE DE MICRO GERAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE NA REGIÃO DE CORNÉLIO PROCÓPIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 16/10/2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Edson Luis Bassetto - Presidente (Orientador)

Prof(a). Me(a). Jancer Frank Zanini Destro - (Coorientador)

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - (Membro)

Prof(a). Esp. Carlos Alberto Paschoalino - (Membro)

RESUMO

SILVA, Raí Augusto. **Estudo de performance de micro geração de sistemas fotovoltaicos conectados á rede na região de Cornélio Procópio.** 2019. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2020.

Com o crescente aumento do consumo de energia elétrica e a tendência mundial de procurar meios alternativos de produção com fontes de energias renováveis, este trabalho de conclusão de curso visa abordar o tema da energia solar fotovoltaica. Dentro da geração de energia fotovoltaica há diversos fatores que influenciam no bom desempenho dos sistemas. As condições ambientais como temperatura ambiente e irradiação solar são dependentes de condições climáticas e não podem ser alteradas, contudo as condições de instalação dos módulos podem ser modificadas como os sistemas de distribuição dos *strings*, no correto posicionamento dos módulos, na adoção sistemática de limpeza dos módulos, além de outros aspectos que favorecem o bom desempenho de um sistema fotovoltaico. Diante disto esse trabalho analisa alguns sistemas fotovoltaicos de micro geração instalados em residências de uma mesma cidade apresentando características diferentes de projeto e desempenho *ratio* distintas. Os melhores resultados apresentados destacam-se sistemas que possuem um ângulo de inclinação dos módulos superior a 20° e menor valor de azimute além de outros aspectos como latitude e direção de posicionamento dos módulos.

Palavras-chave: Taxa de Desempenho. Fotovoltaico. Micro geração.

ABSTRACT

SILVA, Raí Augusto. **Estudo de performance de micro geração de sistemas fotovoltaicos conectados à rede na região de Cornélio Procópio.** 2019. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2020.

With the increase in the consumption of electric energy and the worldwide tendency to look for alternative means of production with renewable energy sources, this final course work aims to address the topic of photovoltaic solar energy. Within the generation of photovoltaic energy there are several factors that influence the good performance of the systems. The environmental conditions such as ambient temperature and solar radiation are dependent on climatic conditions and cannot be changed, however, how the installation conditions of the modules can be modified, such as the distribution systems of the strigs, in the correct positioning of the assemblies, in the systematic adoption of cleaning of the modules, in addition to other aspects that favor the good performance of a photovoltaic system. In view of this, this work analyzes some micro generation photovoltaic systems installed in homes in the same city, with different design characteristics and different performance indexes. The best results are the systems that have an angle of magnification of the modules above 20° and a lower azimuth value, in addition to other aspects such as latitude and direction of positioning of the modules.

Keywords: Performance Ratio. Photovoltaic. Micro generation.

LISTA DE SIGLAS

ONU	Organização das Nações Unidas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABES	Atlas Brasileiro de Energia Solar
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
FV	Fotovoltaico
ROE	Retorno sobre o Patrimônio Líquido
PR	Performance Ratio
kWp	Kilo watt pico
MW	Mega watt
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Efeito fotovoltaico na junção PN	12
FIGURA 2: Esquema do efeito fotovoltaico	13
FIGURA 3: Medição bidirecional registro independente	14
FIGURA 4: Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V.....	19
FIGURA 5: Efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica I-V para o módulo fotovoltaico de 36 células de silício cristalino sob irradiância de 1.000 W/m ²	20
FIGURA 6: Efeitos do sombreamento parcial.....	21
FIGURA 7: Produtividade do sistema para o ano de 2019 (Y _F)	29
FIGURA 8: Taxa de desempenho dos sistemas (PR)	30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Energia anual normalizada do SFCR sob diversos ângulos de orientação em Curitiba - PR.....	22
TABELA 2: Irradiação e Temperatura médias diárias para Cornélio Procópio.....	24
TABELA 3: Irradiação solar mensal por metros quadrado nos meses de análise.....	25
TABELA 4: Informações sobre os sistemas analisados.....	27
TABELA 5: Produção do sistema fotovoltaico no ano de 2019.....	28
TABELA 6: Produtividade do sistema para o ano de 2019 (Y_F)	29
TABELA 7: Análise taxa de desempenho dos sistemas.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	10
1.2	OBJETIVOS.....	10
1.2.1	Objetivo geral.....	10
1.2.2	Objetivos específicos.....	10
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1	ENERGIA SOLAR.....	11
2.2	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	13
2.2.1	Sistema Fotovoltaicos Isolados.....	13
2.2.2	Sistema fotovoltaicos conectados à rede elétrica	14
2.2.2.1	Micro e Mini geração Fotovoltaica	15
2.3	ÍNDICES DE MÉRITO	15
2.3.1	Rendimento de referência.....	16
2.3.2	Rendimento final.....	17
2.3.3	Taxa de desempenho	17
2.3.4	Fator de capacidade.....	18
2.4	FATORES DE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO.....	19
2.4.1	Influência da irradiância solar.....	19
2.4.2	Influência da temperatura.....	20
2.4.3	Influência do sombreamento e sujeira.....	20
2.4.4	Influência do ângulo e orientação do painel.....	21
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	23
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	23
3.2	MÉTODO DE LEVANTAMENTO DE INDICADORES.....	24
3.3	INDICADORES ESTATÍSTICOS	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O sol é fonte para diversos tipos de energia, direta ou indiretamente em nosso planeta, essa energia pode ser utilizada de diversas maneiras entre essas a energia fotovoltaica que consegue converter diretamente a energia proveniente das ondas eletromagnéticas do sol em energia elétrica (PORTAL SOLAR, 2019).

O Brasil é um país privilegiado geograficamente e apresenta um lugar de destaque quando a questão é a Radiação Solar, tendo em vista a grande quantidade de horas de energia que incide sobre a superfície terrestre. Em comparação com outros países, como por exemplo a Alemanha, que está na vanguarda da tecnologia da energia fotovoltaica sendo responsável por 36% de sua matriz energética, o melhor local da Alemanha em questões de radiação solar não supera o local com menor incidência solar no Brasil. (CANALTACH, 2019).

Esse tipo de produção de energia ainda não tem parcela significativa na geração da matriz brasileira (ANEEL), entretanto a economia e o mercado sinalizam mudanças nesse panorama apresentando projeções de crescimento segundo o Relatório de balanço Energético Nacional (EPE, 2019).

As energias renováveis embora mais caras tornam-se mais competitivas, à medida que a produção ganha escalas cada vez maiores e com o crescente avanços tecnológicos tende a colocar como uma escolha viável de produção de energia (TALMASQUIM, 2007).

Com o crescente aumento mundial do consumo de energia elétrica e com a procura por fontes renováveis de energia a energia fotovoltaica tem se mostrado grande potencial para migração das matrizes elétricas de diversos países (TOLONO, 2018),

A energia solar é um recurso que apresenta grande variabilidade e sofre com a oscilação do sol entre o dia e a noite, latitude, estações do ano e períodos com chuvosos ou nebulosos, sujeira nos painéis, sombreamento entre outros. Estas características induzem conforme cada caso e pode qualificar ou não um sistema fotovoltaico de geração de energia (CRESESB, 2019).

Essas características e suas perdas vão ser confrontadas com a taxa de desempenho a fim de estabelecer em quais condições de instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) apresenta melhor produtividade, e sugerir quais critérios devem ser levados em conta para as futuras instalações.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Estudo de comparação de sistemas fotovoltaicos de micro geração na cidade de Cornélio Procópio por meio da taxa de desempenho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre a produtividade e fatores que a alteram em sistemas de microgeração fotovoltaico conectados à rede na região de Cornélio Procópio - Paraná.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar os indicadores para qualificar os sistemas fotovoltaicos,
- Coletar os dados de produção dos sistemas fotovoltaicos instalados e
- Determinar qual a taxa de desempenho dos sistemas instalados;

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho apresenta uma breve fundamentação teórica sobre os principais conceitos da geração de energia fotovoltaica, como o princípio de funcionamento das células fotovoltaicas, os tipos de sistemas instalados, também sobre índices de mérito e como são calculados. Para entender o impacto que esses índices de mérito sofrem também e discutido na fundamentação teórica os fatores que influenciam no desempenho do sistema.

Em sequência a metodologia do trabalho apresenta a forma que esse trabalho será construído começando a apresentação das condições climáticas do local analisado como clima, pluviometria e índice de irradiação solar, com esses valões e possível iniciar os cálculos de taxa de desempenho.

Dando continuidade os resultados e discussão com as características de instalação dos sistemas analisados e a sua produção de energia em um ano de produção e com esses valores é obtido a produtividade de cada sistemas e a taxa de desempenho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo são apresentados a fundamentação teórica, com enfoque na energia solar fotovoltaica comentando sobre o processo de geração assim como as topologias utilizadas na geração e as perdas associadas e produção de energia, assim como o potencial de produção e índices de desempenho.

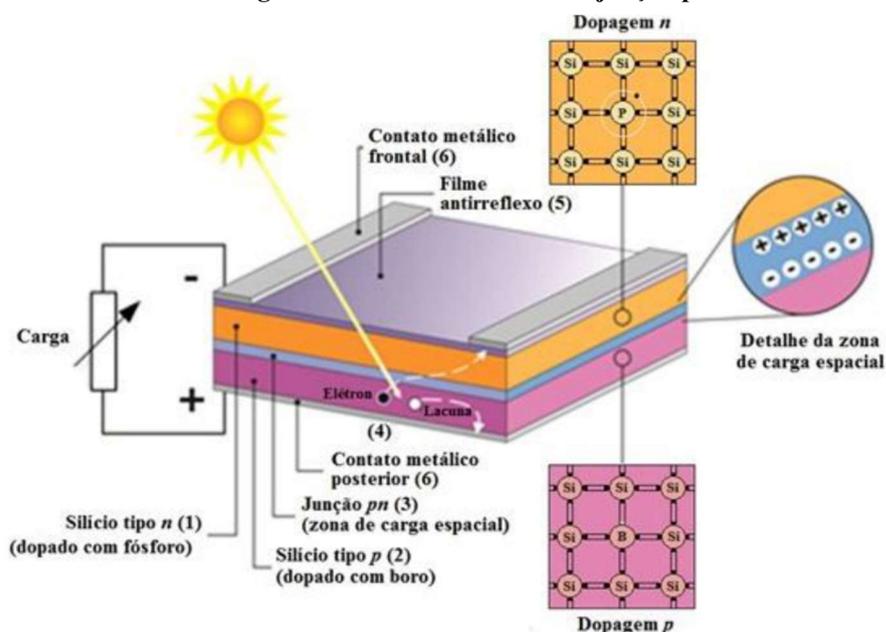
2.1 ENERGIA SOLAR

Responsável pela vida na terra a energia solar é uma grande fonte energética. Sendo assim o sol deve ser visto como o responsável pela origem de todas as fontes de energia na terra, portanto a maioria das outras fontes de energia são derivadas do Sol. Importante colocar que o planeta Terra recebe por meio da radiação emitida pelo sol cerca de $1,5 \times 10^8$ kWh esse valor é cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia (VALLÊRA, 2019).

A radiação solar tem grande potencial para ser utilizado por intermédio de sistemas de conversão e captação de energia e das uma das formas que torna possível é o efeito fotovoltaico. O fenômeno ocorre através de células optoeletrônicas, associadas a dispositivos que associam eletrônica e ótica, que são compostas de materiais semicondutores capazes de converter diretamente a radiação solar em energia elétrica, por meio da excitação dos elétrons. Os materiais semicondutores possuem bandas energéticas que permitem a presença de outros elétrons de outra banda, em sua última camada, totalmente vazia chamada também de banda de condução.

O elemento normalmente utilizado é o silício por possuir quatro elétrons em sua camada de valência possibilita a formação de uma rede cristalina. Dopando o silício com um átomo de fósforo, que possui cinco elétrons em sua camada de valência, a sua ligação acabará resultando em um elétron extra que ficará instável. Com isso ao aplicar pouca energia é possível transferir esse elétron para a banda de condução. Pode-se dizer que o fósforo é o elemento dopante doador de elétrons e denomina-se dopante *n*. Do mesmo modo é possível fazer a dopagem do silício com outros elementos como o boro que possui três átomos em sua última camada produzindo assim então lacunas que permitem que o elétron “salte” com pouca energia térmica para uma camada vizinha. (FALCÃO, 2005). Na Figura 1 é possível observar o efeito fotovoltaico na junção PN.

Figura 1: Efeito fotovoltaico na junção pn.



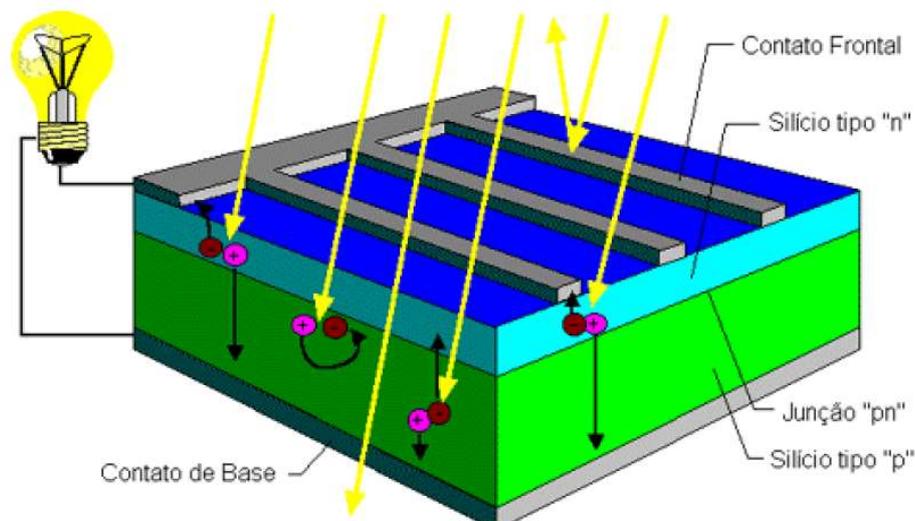
Fonte: CRESESB, 2014.

Ao colocar duas placas de semicondutores dopadas com as propriedades p e n em cada uma delas tem-se uma junção pn, onde os elétrons livres do lado n passam para o lado p, fazendo assim um fluxo de elétrons. Após esse processo atingir a estabilidade, o campo elétrico forma uma barreira que impede os elétrons livres que sobram do lado n, impedido que eles a ultrapassem. (LIMA, 2019)

Ao expor a junção PN a fótons com uma energia maior que a presente no espaço entre as lacunas, serão gerados pares elétrons-lacunas, as cargas ganharam uma aceleração fazendo que uma corrente flua através da junção. Esse deslocamento é uma diferença de potencial, ou efeito fotovoltaico (LIMA, 2019).

A relação da intensidade de corrente depende que flui pela junção pn e a intensidade da luz que incide sobre a junção, tem uma relação diretamente proporcional. A célula fotovoltaica apenas produz o fluxo de elétrons não sendo capaz de armazenar energia elétrica. O fenômeno é mostrado conforme a Figura 2 (SIQUEIRA, 2016).

Figura 2: Esquema do efeito fotovoltaico.



Fonte: CRESESB, 2014.

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em dois grandes grupos, sistemas isolados que não são conectados a rede elétrica e os sistemas conectados à rede que utilizam a rede elétrica existente para transmitir a produção de energia.

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos isolados

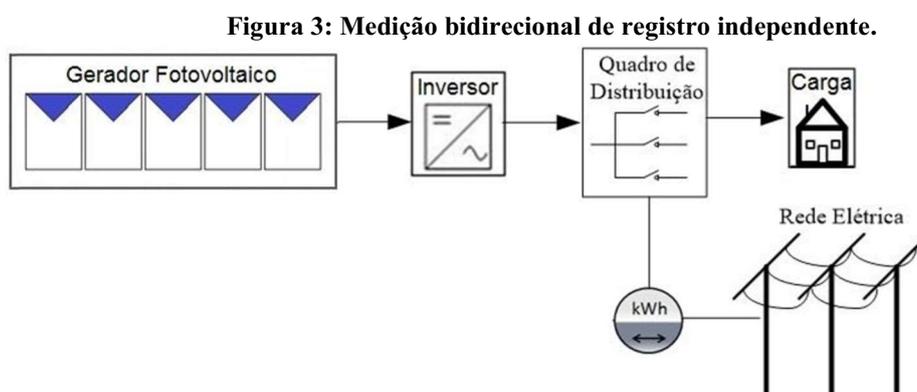
Sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) também conhecidos como sistemas autônomos são instalados em geral em lugares remotos onde não há acesso à rede elétrica. O elemento utilizado para armazenagem de energia é o banco de baterias que é carregado durante o dia onde a incidência de luz solar sobre o sistema, essa energia pode ser utilizada durante o dia ou a noite. Esse sistema possui um controlador de carga que permite o controle da geração do sistema ora mandando energia para os equipamentos da instalação ora mandando para o banco de bateria, variando de acordo com a necessidade. (ARAÚJO, 2016).

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCCR), ou sistemas *on-grid*, não tem a necessidade de elementos acumuladores, pois em via de acumular, a carga pode consumir diretamente ou injetar na rede elétrica da concessionária, onde é consumida pelas unidades consumidoras adjacentes. Este tipo de sistema pode ser visto de modo que o gerador fotovoltaico funciona como uma fonte complementar ao sistema elétrico. (PINHO; GALDINO, 2004)

A composição desse tipo de sistema é feita por módulos fotovoltaicos, inversor e um medidor bidirecional. Os módulos mais comuns são de silício policristalino com potência de pico entre 300~400 Wp (watt-pico) que trabalham em conjunto com os inversores. Os inversores são equipamentos responsáveis pela conversão da energia produzida pelos módulos que é em corrente contínua em corrente alternada normalmente utilizada em equipamentos e que pode ser absorvida pela rede. O elemento de registro de produção pela concessionária e o medidor bidirecional que é responsável em determinar o consumo ou produção do sistema, é instalado pela concessionária de energia (PROJETEEE, 2019).

A Figura 3 mostra a disposição dos equipamentos da geração conectada a rede.



Fonte: CRESESB, 2014.

2.2.2.1 Micro e mini geração fotovoltaica

Um sistema fotovoltaico conectado à rede, é um sistema de energia solar fotovoltaico que gera eletricidade e é conectado à rede elétrica. Um sistema fotovoltaico conectado à rede consiste em painéis solares, um ou vários inversores, uma unidade de condicionamento de energia e equipamento de conexão à rede. Eles variam de pequenos sistemas de telhados residenciais e comerciais a grandes estações de energia solar em grande escala. Ao contrário dos sistemas de energia independentes, um sistema conectado à rede raramente inclui uma solução de bateria integrada, pois eles ainda são muito caros. Quando as condições estão adequadas, o sistema fotovoltaico conectado à rede fornece o excesso de energia, além do consumo pela carga conectada, para a rede elétrica (ELHODEIBY, 2011).

Os sistemas de telhado residenciais conectados à rede e podem atender à carga da maioria das residências a qual são instalados. Eles podem suprir quantidade de energia e exportar o excesso para a rede de energia, onde é consumida por outros usuários. A contagem é feita por meio de um medidor para monitorar a potência transferida. A potência fotovoltaica pode ser inferior ao consumo médio, caso em que o consumidor continuará a comprar energia da rede, mas em menor quantidade do que anteriormente.

A micro e minigeração fotovoltaica é caracterizada pela a ANEEL onde pela resolução Normativa nº 482/2012 na sua seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrica Nacional – PRODIST foram estabelecidos os procedimentos para acesso do micro e mini geradores ao sistema de distribuição. Conforme disposto a mini e microgeração consiste na produção de energia elétrica em pequenas centrais geradoras conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Para diferenciar a microgeração tem a potência instalada menor ou igual a 75 kW a minigeração menor que 5 MW quando se refere a energia solar fotovoltaica (ANEEL, 2014).

2.3 INDICES DE MÉRITO

O desempenho de um sistema fotovoltaico é afetado por uma série de fatores que são intrínsecos do local de instalação como as condições meteorológicas dias de sol, chuva ou nublado. Geralmente o desempenho do módulo é avaliado em condições de teste padrão (STC) sendo a irradiância de 1.000 W / m^2 e temperatura do módulo DE 25° C . A tensão real e a saída de corrente do módulo mudam conforme as condições de iluminação, temperatura e carga mudam, portanto, nunca há uma tensão, corrente ou potência específica na qual o módulo opera.

O desempenho varia dependendo da hora do dia, quantidade de insolação solar, direção e inclinação dos módulos, cobertura de nuvens, sombreamento, estado da carga, temperatura, localização geográfica e dia do ano. As flutuações de tensão e corrente podem ser registradas com um multímetro ou registrador de dados (ALMEIDA, 2012).

Para se fazer essa análise de desempenho dos sistemas fotovoltaicos a Comissão Internacional de Eletrotécnica (IEC), através da normativa IEC Standart 61724, uma metodologia que permite obter índices de mérito capaz de mensurar a qualidade dos sistemas. Essa normativa permite fazer uma análise de sistemas com tamanhos e configurações distintas de maneira confiável (IEC, 1998).

Para se obter um indicador de desempenho adequado que consiga mensurar e compara de maneira coerente sistemas de tamanho, equipamento e instalações diferentes é necessário obter o rendimento de referência (Y_r), valor obtido da irradiação solar local e o rendimento final (Y_f) que se refere a produção de cada um dos sistemas. Com esses dois valores é possível obter a taxa de desempenho (PR) que consegue englobar todas as perdas envolvidas nos sistemas permitindo uma comparação entre sistemas. Esses indicadores assim como a forma de se calcular são descritos na sequência (MARION, 2005)

2.3.1 Rendimento de referência

O rendimento de referência (Y_r) é a relação obtida da irradiação solar no plano (H), com unidade de medida em $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ que representa a quantidade de energia que incide solar que incide sobre um determinado plano, dividido pela irradiação de referência (G) (MARION, 2005).

Este rendimento representa o número de horas por dia durante as quais a radiação solar precisaria estar a níveis de irradiância de referência para contribuir com a mesma energia incidente que foi monitorada. Se $G = 1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, então a irradiação no plano em unidades de $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ é numericamente igual a produção de energia nominal da matriz correspondente em unidades de $\text{kWh}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{kW}^{-1}$. Assim, Y_r seria, de fato, o número de horas de pico de sol por dia ($h\cdot\text{d}^{-1}$)(IEC 61724)

A relação que define Y_r e dada por:

$$Y_r = \frac{H}{G} \quad [\text{horas}] \quad (1)$$

Onde:

H , irradiância solar no plano $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$;

G , irradiância de referência com valor de $1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

2.3.2 Rendimento de final

O rendimento final ou produtividade do sistema fotovoltaico (Y_f) representa a produção total de energia (E) dividida pela potência instalada (P_o), esse valor representa a quantidade de horas que o sistema precisa operar com sua potência nominal para fornecer a mesma energia. A unidade desse parâmetro é kWh/kW. O Y_f normaliza a energia produzida em relação ao tamanho do sistema e conseqüentemente se torna uma maneira conveniente de comparar sistemas fotovoltaicos de diferentes tamanhos. (MARION, 2005)

$$Y_f = \frac{E}{P_o} \quad (\text{kWh/kW}) \text{ ou } (\text{horas}) \quad (2)$$

Onde:

E , produção total de energia em kWh;

P_o , Potência instalada do sistema em kW.

2.3.3 Taxa de desempenho

A taxa de desempenho é uma medida da qualidade de um sistema fotovoltaico que é independente da localização e, portanto, frequentemente descrito como um fator de qualidade. A taxa de desempenho (PR) é declarada como porcentagem e descreve a relação entre as saídas de energia reais e teóricas do sistema fotovoltaico. Assim, mostra a proporção de a energia que está realmente disponível para exportação para a rede após a dedução da perda de energia (por exemplo, devido à sujeira) (WOYTE, 2003).

Quanto mais próximo o valor PR determinado para um sistema fotovoltaico se aproxima de 100%, mais eficiente o sistema operando. Na vida real, um valor de 100% não pode ser alcançado, pois perdas inevitáveis sempre surgem com a operação do sistema (por exemplo, perda térmica devido ao aquecimento dos módulos). Esse método de desempenho leva em consideração todas as perdas de eficiência resultantes da temperatura, condições variáveis de irradiância, sujeira, perdas de linha, perdas de resistência e conversão do inversor. Plantas fotovoltaicas bem projetadas podem atingir um PR médio de 80% a 90% ao longo do ano. (IEA, 2014)

A taxa de desempenho e o método mais importante para avaliação do comportamento geral de um sistema fotovoltaico, depende de vários parâmetros que podem alterar o seu desempenho como a localização do sistema, condições climáticas condições meteorológicas dias de sol, chuva ou nublado, temperatura ambiente e irradiação solar e perdas por calor, sujeira e poeira perdas de conversão de CC para AC e perdas na fiação. (ANGELO, 2007).

Essa taxa é comumente associada a um ano de operação, mas pode ser obtida diariamente ou mensalmente (ANGELO, 2017).

$$P_R = \frac{Y_F}{Y_r} \quad (3)$$

Onde:

Y_F é a produtividade do sistema, em kWh/kWp;

Y_r é a irradiação sobre o sistema, em kWp;

2.3.4 Fator de capacidade

É o índice em porcentagem que representa a razão entre o montante de energia gerado em um período e a capacidade de geração nominal neste mesmo período, normalmente estabelecido como um ano. (DALMAZ, 2007)

Este índice possibilita a comparação de geração de energia de fontes diferentes. O fator capacidade e a produtividade estão relacionados, uma vez que fator de capacidade é determinado pela equação (4):

$$C_F = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_N * T} = \frac{Y_F(h)}{8760 h} = \frac{\text{Energia}}{\text{Potência} * \text{Tempo}} \% \quad (4)$$

Onde,

$P(t)$ é a potência gerada pelo sistema no instante t , em kW;

P_N é a potência nominal do sistema, em kWp;

T é o período considerado em horas;

Y_F é a produtividade do sistema, em kWh/kWp.

2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO

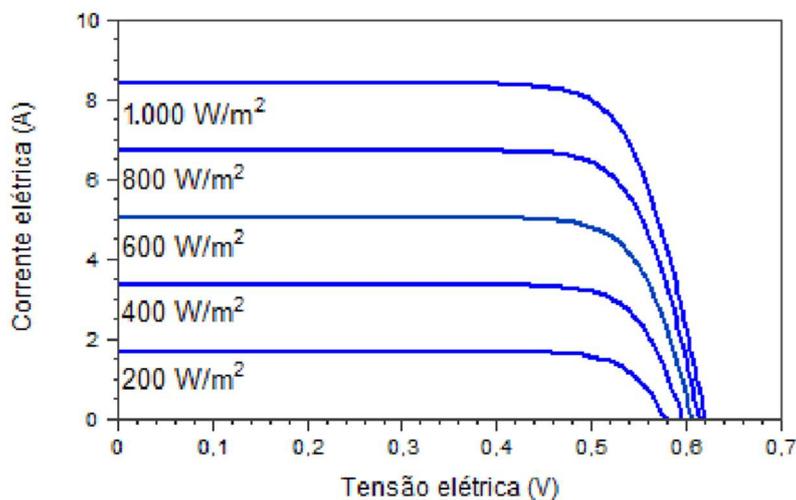
O desempenho de um sistema fotovoltaico é afetado por diversos fatores como a irradiação solar disponível no local, temperatura, sombreamento e sujeira e sombreamento nos módulos fotovoltaicos ângulo e orientação dos módulos fotovoltaicos (GASPARIM; KRENZINGER, 2017).

2.4.1 Influência da irradiação solar

A radiação solar anual média que chega ao topo da atmosfera terrestre é de aproximadamente 1361 W/m^2 . Os raios do Sol são atenuados à medida que passam pela atmosfera, deixando a irradiância máxima da superfície normal em aproximadamente 1.000 W/m^2 ao nível do mar em um dia claro. A radiação global em uma superfície horizontal no nível do solo é de cerca de 1120 W/m^2 . O último valor inclui a radiação espalhada ou reemitida pela atmosfera e arredores. O valor real varia com o ângulo do Sol e as circunstâncias atmosféricas. Ignorando as nuvens, a insolação média diária da Terra é de aproximadamente $6 \text{ kWh/m}^2 = 21,6 \text{ MJ/m}^2$ (CODDINGTON, 1997).

A geração de energia elétrica dos módulos fotovoltaicos está relacionada com a variação da irradiância, que é o efeito da radiação solar, sobre o mesmo. Dependendo da irradiância o valor da corrente se altera, alterando assim a geração de energia do sistema. Na figura 4 são apresentadas curvas para diversos valores de irradiâncias em um painel de silício cristalino (PINHO e GALDINO, 2004).

Figura 4: Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V.



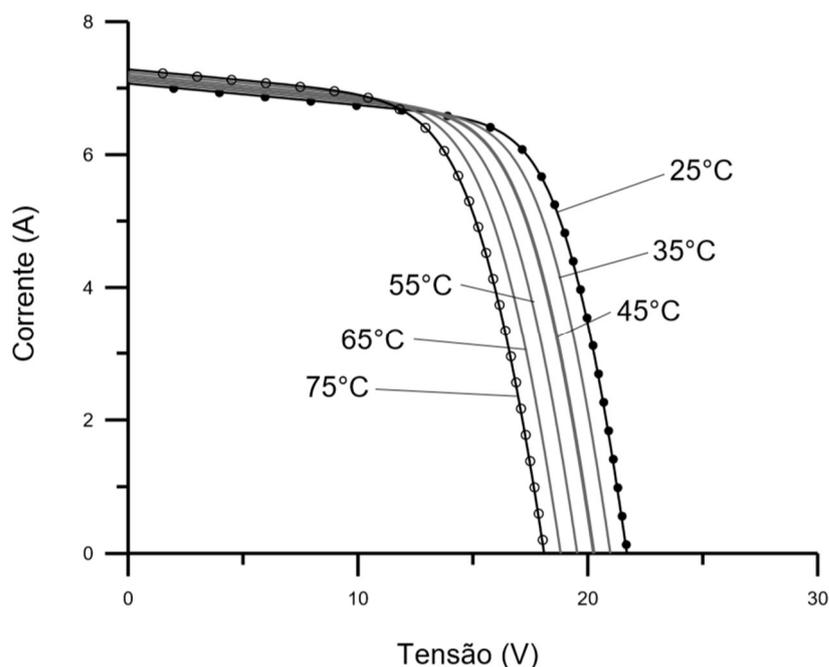
Fonte: PINHO, GALDINO, 2014.

2.4.2 Influência da temperatura

Os painéis solares são testados a 25 ° C sob a condição de teste padrão (STC) e, portanto, ir além dessa temperatura afeta a produção de energia. A quantidade de energia produzida por um painel solar é calculada multiplicando-se a corrente e a tensão. Quando os painéis solares são expostos a uma temperatura mais alta, a corrente aumentará, enquanto a voltagem diminuirá. Como a tensão diminui mais rápido do que a corrente aumenta, você terá uma eficiência reduzida para seus painéis solares. (GRINENKO, 2018)

O aumento da corrente de acordo com a temperatura não é o suficientemente grande para impedir a diminuição da potência do módulo, a figura 05 mostra o efeito causado pela variação de temperatura nas células fotovoltaicas (PINHO e GALDINO, 2004).

Figura 5: Efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica I-V para o módulo fotovoltaico de 36 células de silício cristalino sob irradiância de 1.000 W/m².



Fonte: PINHO, GALDINO, 2014.

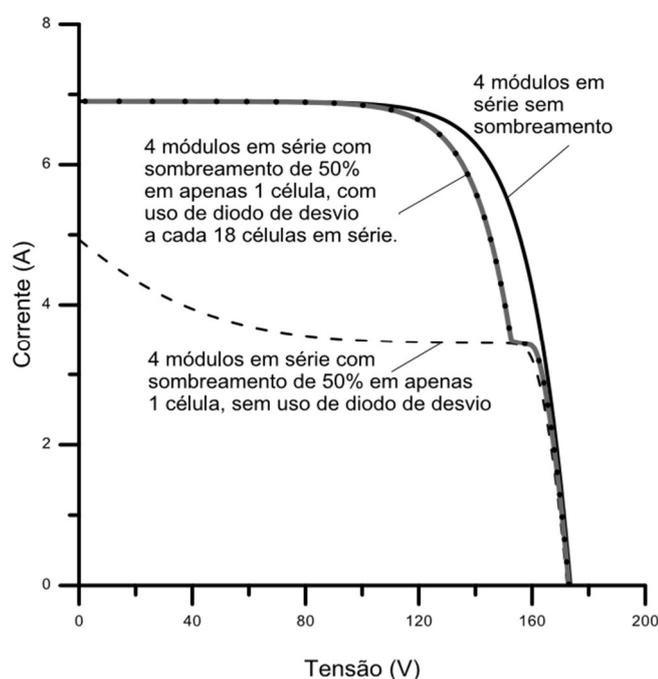
2.4.3 Influência do sombreamento e sujeira

O sombreamento no módulo fotovoltaico por qualquer objeto, incluindo sujeira, excrementos de pássaros ou folhas irá reduzir sua produção, pois não está deixando a luz do sol passar para o painel naquele local e afetará a eficiência de seu sistema de energia solar. A diferença entre painéis limpos e empoeirados / sujos na geração de eletricidade de saída podem

ser de cerca de 5%. A chuva forte pode limpar os painéis regularmente, a limpeza ajudará a maximizar a produção solar. Quem falou isso?

A figura 6 mostra o efeito do sombreamento sobre apenas uma célula dentre 4 módulos conectados em série. Ao cobrir metade de uma célula as correntes daquele módulo são reduzidas pela metade. (PINHO; GALDINO, 2004)

Figura 6: Efeitos do sombreamento parcial.



Fonte: PINHO, GALDINO, 2014.

Para limpeza dos painéis solares é utilizado água deionizada ou água pura não contendo abrasivo ou sabão. Se você estiver perto de uma área de alto tráfego ou se houver acúmulo de poeira devido à localização geográfica ou atividade de construção, ou falta de chuva - pode ser necessária uma limpeza regular após aproximadamente 6 meses.

2.4.4 Influência do ângulo e orientação do painel

As relações geométricas entre os raios solares, que variam de acordo com o movimento aparente do Sol e a superfície terrestre, são descritas através de vários ângulos, entre eles estão o Azimute e o ângulo de inclinação.

Um azimute é uma medição angular em um sistema de coordenadas esféricas, como exemplo o vetor de um observador (origem) a um ponto de interesse é projetado

perpendicularmente em um plano de referência; o ângulo entre o vetor projetado e um vetor de referência no plano de referência é denominado azimute. (SAKHATME, 2008)

Ângulo de inclinação da superfície de captação está entre o plano da superfície em questão e o plano horizontal, esse valor varia entre 0° a 90°.

Os painéis solares devem sempre estar voltados para o sul verdadeiro se você estiver no hemisfério norte, ou para o norte verdadeiro se você estiver no hemisfério sul.

Do ponto de vista puramente geométrico, a melhor orientação para um arranjo fotovoltaico de produção anual de eletricidade no hemisfério sul é aquela com inclinação igual à da latitude local e orientada para o norte geográfico. (GASPARIM, 2017, pag.: 1)

A Tabela 1 apresenta uma tabela de perdas para diversas inclinações para a cidade de Curitiba em um SFCR onde é possível observar que para diversos ângulos de inclinações é possível obter um desempenho considerável (GASPARIM; KRENZINGER, 2017).

Tabela 1: Energia anual normalizada do SFCR sob diversos ângulos de orientação em Curitiba - PR.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
0	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
5	0.89	0.90	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90
10	0.86	0.88	0.93	0.94	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	0.93	0.91	0.87
15	0.82	0.86	0.92	0.95	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.92	0.90	0.84
20	0.78	0.82	0.91	0.95	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88	0.80
25	0.73	0.79	0.90	0.94	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.96	0.94	0.90	0.86	0.77
30	0.67	0.75	0.88	0.93	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.89	0.84	0.73
35	0.62	0.71	0.86	0.91	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96	0.94	0.92	0.87	0.81	0.68
40	0.57	0.67	0.84	0.89	0.94	0.96	0.97	0.97	0.98	0.97	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.85	0.79	0.64
50	0.48	0.59	0.78	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.87	0.85	0.79	0.73	0.56
60	0.41	0.52	0.72	0.79	0.83	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85	0.84	0.82	0.80	0.78	0.73	0.67	0.49
70	0.33	0.45	0.65	0.72	0.76	0.77	0.78	0.78	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.72	0.70	0.66	0.60	0.43
80	0.28	0.39	0.58	0.64	0.67	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.58	0.53	0.38
90	0.24	0.35	0.51	0.56	0.58	0.58	0.58	0.57	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.53	0.51	0.47	0.33

Fonte: GASPARIM; KRENZINGER, 2017.

3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

Este estudo começa analisando as condições as quais os sistemas analisados são submetidos, condições essas como a irradiação solar gerais, clima e índices pluviométricos. Em seguida encontrar um método para classificar os sistemas de geração fotovoltaica, coletar os dados necessários para analisar os sistemas e por fim analisar esses dados e tirar conclusões que levam os sistemas terem ou não rendimento diferentes.

São analisados 10 sistemas instalados na cidade de Cornélio Procópio e com as configurações de cada um dos sistemas e os valores de produção de energia (kWh) mensal de janeiro de 2019 a dezembro de 2019. Como todos os sistemas se encontram na mesma região não será possível considerar diversas produtividades de referência, sendo utilizada a produtividade de referência da cidade de Cornélio Procópio como padrão para todos os sistemas.

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERISITICAS CLIMÁTICAS

Para analisar as com dições climáticas as quais os sistemas são submetidos, serão utilizados como referência as condições da cidade de Cornélio Procópio, onde todos os sistemas são instalados.

A cidade se localiza no norte do estado do Paraná no Brasil tendo como coordenadas geográficas (23° 10' 51''S, 50°38'49''O) e altitude de 658 m do nível do mar. (INPE, 2020).

No hemisfério sul onde fica o Brasil as estações do ano não são muito bem definidas, onde o verão se inicia dia 21 de dezembro, o a outono dia 20 de março, inverno dia 20 de junho e a primavera iniciando no dia 22 de setembro (INPE, 2020).

A irradiação global média diária (G_{H_d}) para o plano inclinado no ponto de referência, assim como o valor de temperatura média diária (T) e o índice pluviométrico médio mensal são apresentados na tabela e nos gráficos a seguir. As informações são retiradas de banco de dados disponíveis na internet (SOLARGIS, 2020).

TABELA 2: Irradiação e Temperatura médias diárias para Cornélio Procópio.			
Mês	GHd (kWh/m².dia)	T24 (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	5,48	23,3	201,00
Fevereiro	5,68	23,5	167,00
Março	5,47	23,2	121,00
Abril	5,23	21,9	92
Mai	4,47	18,5	104,00
Junho	4,32	17,5	73,00
Julho	4,49	17,7	57,00
Agosto	5,38	19,5	44,00
Setembro	5,07	21	100,00
Outubro	5,33	22,1	123,00
Novembro	5,65	22,7	132,00
Dezembro	5,76	23,6	177,00
Média	5,19	21,2	115,90

Fonte: Autoria própria, com dados do SOLARGIS e do INPE.

3.2 MÉTODOS DO LEVANTAMENTO DOS INDICADORES

O ano a ser analisado é o de 2019, como a quantidade de dias dos meses varia conforme o ano, é necessário fazer o produto da quantidade de dias no mês pela irradiação média global diária (GH_d) para se obter a irradiação solar que incide por metro quadrado no ponto de referência no mês de análise. Sendo assim a Tabela 3 apresenta esses valores.

TABELA 3: Irradiação solar mensal por metros quadrado nos meses de análise.

Nº	Mês	Dias	(kWh/m ² .dias)	(kWh/m ²)	YR
1	Janeiro	31	5,48	169,88	169,88
2	Fevereiro	28	5,68	159,04	159,04
3	Março	31	5,47	169,57	169,57
4	Abril	30	5,23	156,90	156,90
5	Maio	31	4,47	138,57	138,57
6	Junho	30	4,32	129,60	129,60
7	Julho	31	4,49	139,19	139,19
8	Agosto	31	5,38	166,78	166,78
9	Setembro	30	5,07	152,10	152,10
10	Outubro	31	5,33	165,23	165,23
11	Novembro	30	5,65	169,50	169,50
12	Dezembro	31	5,76	178,56	178,56

Fonte: Autoria própria.

Com o valor mensal de H é possível obter o rendimento de referência (Y_R) que é o quociente das irradiações H pela G de referência no padrão STC (Standart Test Conditions), adotado como 1000W/m². (MARION, 2005).

O valor de Y_R representa a quantidade de horas que o sistema opera em pleno funcionamento por mês no ponto de referência, por exemplo no mês de fevereiro de 2019 que teve um total de 28 dias e uma irradiação média de 5,68 kWh.m⁻².dia⁻¹, então no mês o total de 159,04 kWh.m⁻², como a referência em STC é 1000W/m², no mês de fevereiro temos 159,04 horas de sol que o sistema opera a 100% de sua capacidade.

3.3 INDICADORES ESTATÍSTICOS

Para se comparar os sistemas será utilizada a taxa de desempenho mensal PR (Performance Ratio) mensal, que necessita além do Y_R o valor da produtividade do sistema mensal (Y_F) que é o quociente da produção de Energia do sistema (kWh) pelo potência de pico instalada (kWp), descrita pela equação 3.

Para que o sistema fotovoltaico opere com uma boa eficiência é necessário que os módulos fotovoltaicos operem sem sombreamento e sujeira, entretanto os sistemas aqui

analisados não contêm sistemas e cronogramas de limpeza. O processo de limpeza ocorre ou não de maneira natural pela chuva, sendo necessário uma inclinação em relação ao plano horizontal mínima de 10° para que ocorra. O valor de precipitação média será fundamental para analisar a variação de desempenho dos sistemas conforme o decorrer do tempo (TOLONO, 2018).

Um outro fator que impacta diretamente no rendimento dos sistemas fotovoltaicos e a temperatura (PINHO E GALDINO, 2004). Conforme os dados coletados será comparado a temperatura diária com a variação de desempenho do sistema.

Na sequência são apresentados os resultados da análise dos sistemas através do seu PR mensal e discutido o desempenho dos mesmos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o estudo é realizada a análise em 10 sistemas onde cada um deles apresenta características distintas o que vai permitir após a comparação da taxa de desempenho saber qual configuração obter o melhor desempenho. Inicialmente será coletado informações gerais sobre cada um desses sistemas.

A potência CC (corrente contínua) medida em kWp corresponde a somatória da potência dos módulos instalados, por exemplo o sistema 01 que possui 10 módulos de 330W cada, totaliza uma potência CC de 3,3 kWp. A potência CA (corrente alternada) corresponde ao valor total da potência dos inversores instalados, sendo no sistema 01 com apenas um inversor de 3 kW.

Os sistemas analisados estão instalados em residências, onde em todos os casos e utilizado o telhado do imóvel para fixar os módulos. Nem sempre o telhado oferece as melhores condições para produção de energia fotovoltaica, podendo ter as mais diversas orientações e inclinações favorecendo ou não a produção de energia. Esse fator de inclinação pode ser o diferencial para o aumento ou não da taxa de desempenho.

Inicialmente vamos descrever cada um dos sistemas brevemente informando a potência total dos módulos fotovoltaicos (Potência CC), potência total dos inversores (Potência CA), inclinação dos módulos fotovoltaicos de acordo com o telhado que são instalados e o ângulo Azimute.

Identificação	Potência CC (kWp)	Potência CA (kW)	Inclinação (°)	Azimute (°)
1	3,3	3	29	10
2	5,94	5	26	340
3	13,65	11,2	15	50
4	3,78	3	21	40
5	6,5	5	25	30
6	7,92	6	30	0
7	5,28	4	12	290
8	6,6	5	11	70
9	3,84	3	13	90
10	3,9	3	17	310

Fonte: Autoria própria.

No segundo momento é coletado os dados de produção de cada sistema, A medição de e aferida nos inversores em uma plataforma disponibilizada pelo fabricante do equipamento, medido em kWh por mês, que representa a somatória de toda a energia produzida durante esse período.

Como a medição é feita mensalmente é esperado que no decorrer do ano o mesmo sistema apresente variação na sua produção, sendo nos meses de inverno uma menor produção devido à baixa intensidade de raios solares e no verão uma maior produção.

A Tabela 5 apresenta esses dados de produção.

Nº	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	528,8	407,1	482,0	403,9	386,4	400,0	417,5	463,0	422,4	489,8	446,7	413,4
2	978,1	743,3	817,1	643,7	567,5	552,2	580,7	639,2	680,7	836,5	832,5	771,2
3	2235,0	1648,3	1784,3	1446,2	1301,5	1229,3	1292,8	1506,8	1519,2	1818,4	1773,8	1746,8
4	561,3	402,0	493,2	388,6	368,0	414,3	436,5	449,8	479,0	545,7	507,0	512,4
5	1074,2	777,0	917,0	758,9	722,8	736,6	738,5	716,4	790,0	907,1	866,1	856,9
6	1253,5	951,3	1131,3	991,4	927,9	1001,7	1065,9	1143,3	1059,2	1208,0	1134,9	1047,4
7	815,3	628,2	618,8	513,9	453,2	434,5	463,2	555,9	594,9	745,1	735,5	663,7
8	999,6	777,2	860,1	661,5	593,4	576,2	610,0	685,5	724,2	895,4	863,8	786,2
9	525,0	409,0	448,8	357,1	332,1	334,3	352,8	401,3	386,6	470,2	483,7	491,3
10	605,5	448,2	510,8	421,3	410,9	415,1	432,1	462,2	455,6	525,9	497,4	475,9

Fonte: Autoria própria.

Para compara os valores de produção de forma coerente é necessário analisar a produtividade do sistema (Y_F), que é o quociente da produção de energia pela potência CC instalada. O valor de produção de energia é medido mensalmente, conseqüentemente a produtividade será representada da mesma forma. Essa análise permite compara sistemas de magnitudes diferentes obtendo uma relação de horas de produção de energia mensal para cada sistema.

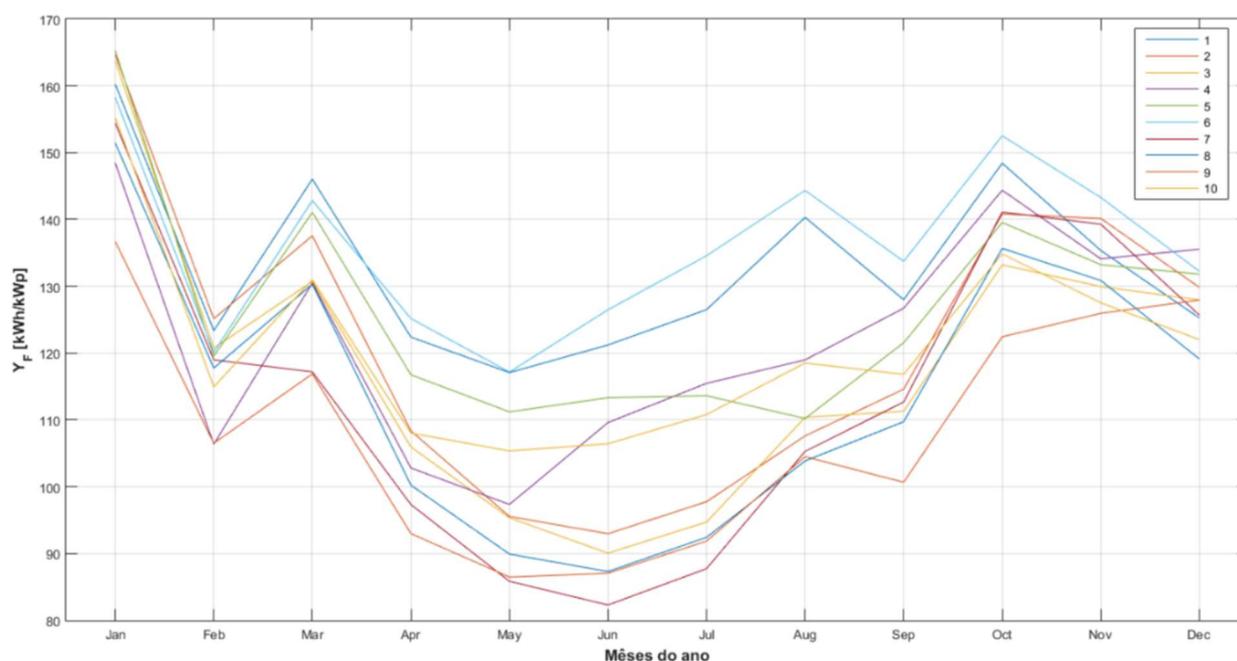
A tabela 6 apresenta a produtividade mensal de todos sistemas, valor obtido pela divisão de produção de energia de cada um dos sistemas pela sua potência instalada.

Nº	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	160,3	123,4	146,0	122,4	117,1	121,2	126,5	140,3	128,0	148,4	135,4	125,3
2	164,7	125,1	137,6	108,4	95,5	93,0	97,8	107,6	114,6	140,8	140,2	128,8
3	163,7	120,8	130,7	106,0	95,3	90,1	94,7	110,4	111,3	133,2	130,0	128,0
4	148,5	106,4	130,5	102,8	97,3	109,6	115,5	119,0	128,7	144,4	134,1	135,6
5	135,3	119,5	141,1	116,8	111,2	113,3	113,6	110,2	121,5	139,3	133,2	131,8
6	158,3	1201,1	142,8	125,2	117,2	126,5	134,6	144,4	133,7	152,5	143,3	132,3
7	154,4	119,0	117,2	97,3	85,8	82,3	87,7	105,3	112,7	141,1	139,3	125,7
8	151,5	117,8	130,3	100,2	89,9	87,3	92,4	103,9	09,7	135,7	130,9	119,1
9	136,7	106,5	116,9	93,0	86,5	87,1	91,9	104,5	100,7	122,4	126,0	127,9
10	155,3	114,9	131,0	108,0	105,4	106,4	110,8	118,5	116,8	134,8	127,5	122,0

Fonte: Autoria própria.

Para mostrar de maneira clara os resultados de produtividade dos sistemas foi plotado um gráfico da produtividade versus os meses de 2019, observando assim uma grande diferença de produtividade entre os sistemas, pois os mesmos apresentam configurações diferentes. Essa diferença tem o seu máximo no mês de julho com 46,8 kWh/kWp e mínimo no mês de dezembro com 16,4 kWh/kWp.

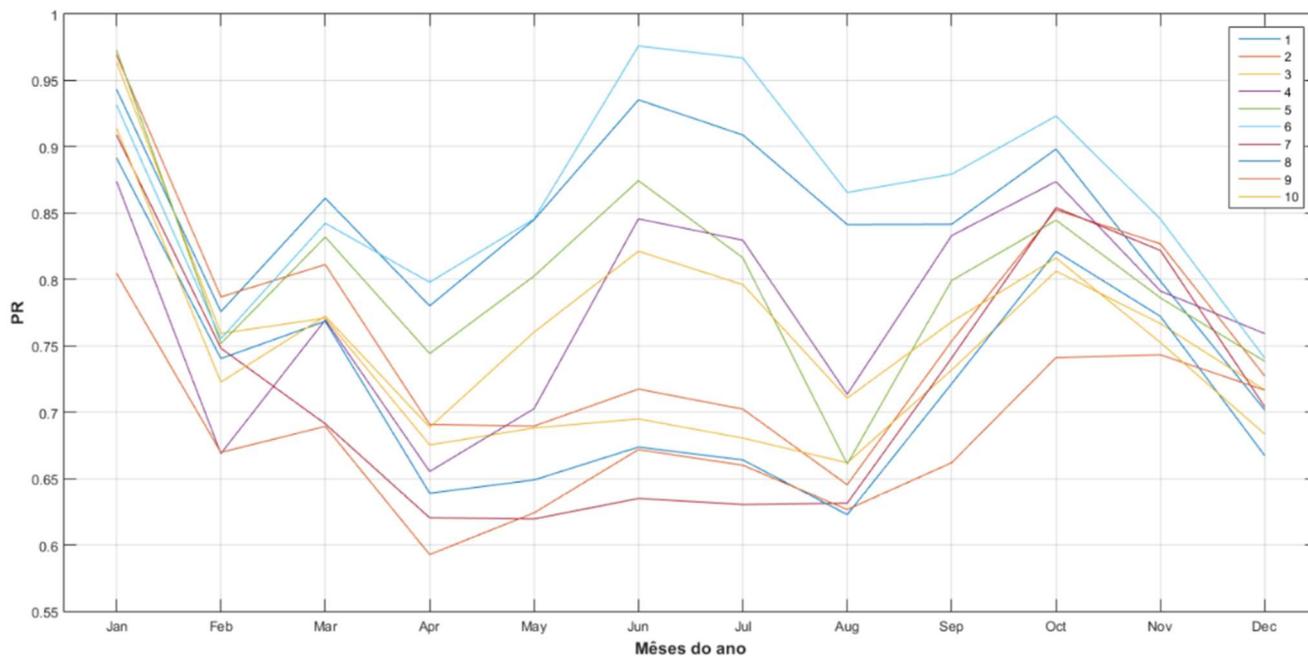
Figura 7: Produtividade do sistema para o ano de 2019 (Y_F).



Fonte: Autoria própria.

Com o valor da produtividade do sistema e da produtividade de referência é possível obter o valor de taxa de desempenho mensal, conforme a equação 3, mostrado no gráfico da Figura 08 a seguir.

Figura 8: Taxa de desempenho dos sistemas (PR).



Fonte: Autoria própria

Com uma grande variação da taxa de desempenho entre os sistemas, que já era esperada devido as diferentes condições de instalação. Também para se fazer a análise da limpeza dos módulos serão mostrados os valores de máximos, mínimos e o valor médio Tabela 07.

TABELA 7: Análise taxa de desempenho dos sistemas			
Nº	MÁX	MÍN	MED
1	0,943	0,702	0,843
2	0,969	0,645	0,740
3	0,964	0,662	0,724
4	0,874	0,655	0,780
5	0,973	0,661	0,801
6	0,976	0,741	0,856
7	0,909	0,619	0,698
8	0,892	0,623	0,698
9	0,805	0,593	0,671
10	0,914	0,683	0,764

. FONTE: Autoria própria

O mês que o sistema apresenta uma melhor PR é o mês de janeiro, devido a chuvas que fazem a limpeza nos módulos. Em contrapartida os meses de abril e agosto que se caracterizam por uma menor precipitação tem o seu PR reduzido, devido ao excesso de sujeira nos módulos. O fator temperatura não pode ser levado em consideração devido não haver variação de temperatura significativa durante o período de um ano.

Apenas 3 sistemas apresentam um PR superior a 0,800 que segundo a Agencia Internacional de Energia (IEA) e classificado como um sistema que tem uma boa taxa de desempenho. Tendo sistemas que em certos meses do ano apresentam uma PR próxima a 0,600 que significa que 40% da energia está sendo perdida.

O sistema que apresenta o melhor PR é o de número 6 com um valor médio de 0,856 observando as suas características na Tabela 01 temos ângulo 0° de azimute e uma inclinação de 30° em relação ao plano. Segundo a tabela da Figura 6 o sistema não apresenta ângulo de inclinação e azimutes considerados ideais.

Em contrapartida o sistema que apresenta o menor resultado de PR, número 9, com um valor médio de 0,671. O sistema tem como características um azimute de 90° e um ângulo de inclinação de 11 graus, essa configuração dá ao sistema uma maior margem de perda com relação a orientação do sistema de acordo com a tabela 6.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desse trabalho e realizar um estudo sobre a produtividade de sistemas de microgeração fotovoltaico conectados à rede, na região de Cornélio Procópio. Para atingir esse objetivo foi realizado a escolha da taxa de desempenho (Performance Ratio – PR) como parâmetro de comparação entre os sistemas, possibilitando compara-los apesar de suas diferenças de tamanho e configuração.

Com a seleção do método de classificação e coleta das informações de sistemas reais instalados na cidade, e possível observar um aumento de desempenho dos sistemas nos meses de janeiro devido a limpeza ocorrida pelo período de chuvas de verão, em contra partida em épocas de maior estiagem o provável acúmulo de sujeira prejudica a produção ocasionando redução na produtividade mostrado na Imagem 7.

Os sistemas que apresentam menor desvio de ângulo azimutal assim como uma inclinação próxima a latitude de Cornélio Procópio tem uma melhor PR, no caso o sistema que apresentou melhor desempenho foi o de número 6 com uma média de 0,856. Em contra partida os sistemas com maior ângulo azimute e ângulo de inclinação diferentes ao da latitude apresentam um menor PR, como no caso o sistema de número 09 com PR de 0,671, o mesmo possui um ângulo de inclinação de 13° e um azimute de 90°.

Este trabalho deixa como recomendação que os proprietários dos sistemas façam ao menos 2 limpezas anuais nos sistemas, preferencialmente nos meses de abril e agosto para uma melhor produção de energia em seus sistemas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação De Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede**, Programa de pós-graduação em energia. p104-112, maio 2012.
- ARAÚJO, Ana J. N.; RANK, Narah I.; BUENO, Talita B.A. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba**. 2016. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- BRIAN, Vick. RAY, Clark. **How does dirt, twigs and leaves affect the efficiency of my system?** Disponível em <<https://www.lgenergy.com.au/faq/troubleshooting/how-does-dirt-twigs-and-leaves-affect-the-efficiency-of-my-system>> Acesso: 18 set. de 2020
- CANALTECH. **Potência energético da Alemanha**. Disponível online em <<https://canaltech.com.br/meio-ambiente/alemanha-cobre-95-da-demandade-energia-eletrica-com-fontes-renovaveis-65953/>>. Acesso em: Outubro de 2019.
- CODDINGTON, O.; Lean, J. L.; Pilewskie, P.; Snow, M.; Lindholm, D. (22 August 2016). **A Solar Irradiance Climate Data Record**. Bulletin of the American Meteorological Society. 1997 pag. 1265–1282.
- CEC, Commission of the European Communities. **Analysis and Presentation of Monitoring Data, Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants**, Documento B, Versão 4.3, Março 1997
- CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica** Sérgio de Salvo Brito, 2014. Disponível online em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: agosto de 2019
- DALMAZ, Alessandro. **Estudo do Potencial Eólico e Previsão de Ventos para Geração de Eletricidade em Santa Catarina**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- MARION, B.; ADELSTEIN, J. et all, T. **Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. In: Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition**. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1488451/>>. Acesso em 03 jun. 2019.
- ELHODEIBY, A.S.; Metwally, H.M.B; Farahat, M.A. **Performance analysis of 3.6 kw rooftop grid connected photovoltaic system in egypt**. Conferência Internacional de Sistemas de Energias e suas Tecnologias (ICEST 2011): pag 151–157. Retrieved 2011.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**, Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2019.
- FALCAO, Vivienne Denise. **Fabricação de Células Solares de CdS/CdTe**. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

GASPARIM, F.P; KRENZINGER, A. **Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel**. Revista Brasileira de Energia Solar, Ano 8. Rio Grande do Sul. 2017.

GRINENKO, Tatyana. **How temperature affects Solar Panel Efficiency**. Disponível em <<https://www.renvu.com/Learn/How-Temperature-Affects-Solar-Panel-Efficiency>> Acesso: 18 set. de 2020

IEA, International Energy Agency. **Technology Roadmap**, Solar Photovoltaic Energy. Paris, 2014. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf>. Acessado 02 de setembro de 2019.

IEC: Photovoltaic system performance monitoring – **Guidelines for measurement, data exchange and analysis**, International Standard IEC 61724, Geneva, Switzerland, first edition, abril 1998

INPE Disponível em <<https://www.cptec.inpe.br/pr/cornelio-procopio> 2020> Acesso: 18 ago. de 2020

JAHN, U.; NASSE, W. **Performance analysis and reliability of grid-connected PV systems in IEA countries**. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion. Osaka, Japão. Maio de 2003

LIMA, Ariane A. MENEZES, Natalia P. et. all. **Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 42. Universidade Federal do Paraná Departamento de Engenharia Elétrica, Curitiba, PR, Brasil. 2018.

MOKRIN, J.; CUNNINGHAM, J.. **PV System Performance Assessment**, Centro Solar. Sun Spec Alliance. Junho de 2014

NEOSOLAR Disponível em <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-conectados-grid-tie/projeto>> Acesso: 18 ago. de 2020.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESEB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Edição Especial PRC-PRODEEM, 2004.

PORTAL SOLAR. **O que é energia solar?**. Disponível online em <<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar.html> >. Acesso em: Outubro de 2019.

PROJETEEEE, 2019, **Sistema fotovoltaico conectado à rede**. Disponível em <http://projeteee.mma.gov.br/equipamento/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-sfcr-ou-on-grid/> . Acesso em 27 de agosto de 2019

SOLARGIS Disponível em <<https://apps.solargis.com/prospect/detail/0YHZUesyMRJJbaD8/metadata>> Acesso: 18 ago. de 2020.

SUKHATME, S. P. Solar Energy: **Principles of Thermal Collection and Storage** (3rd ed.). Tata McGraw-Hill Education. p. 84. (2008).

TALMASQUIM, Mauricio T. Et all. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. Novos estud. CEBRAP no.79. São Paulo. Nov. 2007

VALLÊRA, António M. **Meio Século de História Fotovoltaica**. Departamento de Física e Centro de Física da Matéria Condensada (CFMC). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Campo Grande – Lisboa, 2019.

WOYTE, Achim, et all. **Monitoring of photovoltaica System: Good practices systematic Analysis**. Documento A, Versão 4.3, abril 2003