



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

LUIS HELDER MARTINS UCHÔA

**ESTUDO COMPARATIVO EM DIFERENTES BASES DE DADOS DE UMA
SIMULAÇÃO ASSISTIDA POR SOFTWARE DE MODELAGEM DE UMA USINA
SOLAR FOTOVOLTAICA**

FORTALEZA

2022

LUIS HELDER MARTINS UCHÔA

ESTUDO COMPARATIVO EM DIFERENTES BASES DE DADOS DE UMA
SIMULAÇÃO ASSISTIDA POR SOFTWARE DE MODELAGEM DE UMA USINA
SOLAR FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Energias Renováveis
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
de Energias Renováveis.

Orientador: Profa. Dra. Ana Fabiola Leite
Almeida

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

U19e Uchôa, Luis Helder Martins.

Estudo comparativo em diferentes bases de dados de uma simulação assistida por software de modelagem de uma usina solar fotovoltaica / Luis Helder Martins Uchôa. – 2022.
80 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida.

1. Energia solar. 2. Bases meteorológicas. 3. Geração fotovoltaica. 4. Simulações. I. Título.

CDD 621.042

LUIS HELDER MARTINS UCHÔA

ESTUDO COMPARATIVO EM DIFERENTES BASES DE DADOS DE UMA
SIMULAÇÃO ASSISTIDA POR SOFTWARE DE MODELAGEM DE UMA USINA
SOLAR FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Programa de Graduação em Engenharia de
Energias Renováveis da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro em Energias Renováveis.

Aprovada em:15/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Ana Fabiola Leite Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Clemilson Costa dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Mestra. Vanja Fontenele Nunes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Helber e Lussilda.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dra. Fabiola Leite Almeida, pela excelente orientação.

Ao Prof. Dr. Clemilson Costa dos Santos e a Mestra. Vanja Fontenele Nunes pela honra de ter participado da banca.

Aos meus pais, Helber e Lussilda Claudia, por terem garantido que eu tivesse uma educação de qualidade, por sempre confiarem no meu potencial, por todo o apoio e carinho oferecidos ao longo de minha vida.

À minha irmã, Luciana, pela sua parceria e apoio constantes durante minha trajetória.

À Vivian, por todo o amor e companheirismo, por sempre acreditar em mim e me apoiar em todos os meus projetos.

Aos meus amigos, Renato, Francisco Matheus, Albano, Jonathan, Gabriel, Aquécio, Ismael, Paulo Matheus, João Vitor, por terem estado ao meu lado durante toda a graduação e me inspirarem pessoal e profissionalmente.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, Daniel, Igor, Bruno, Célio, Harrisson, Pedro, Elias, Tionardo, por todos os aprendizados e por terem tornado o ambiente de trabalho mais leve e agradável com seu companheirismo diário.

“Embora os mestres e livros sejam auxiliares necessários, é do esforço próprio que resultam os mais complexos e brilhantes resultados.”

Jim Davis

RESUMO

O estudo se inicia com a introdução de conceitos básicos sobre a geração fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos e todos os componentes que o compõem, analisando também como são formatadas bases meteorológicas e anos típicos meteorológicos que são utilizados como base para as simulações de energia solar. Em seguida, foi realizada uma modelagem em 3D de uma usina solar instalada em solo, na cidade de Aquiraz-Ce, com 75,9kWp de potência e então realizado 8 simulações variando a base de dados. Após a modelagem, os resultados foram comparados com os valores reais obtidos na usina. Os resultados estiveram em um intervalo de -5,41% abaixo da geração até 8,59% acima do valor esperado. A base de dados com maior acurácia sendo o CRESESB chegando ao valor de 0,36% de diferença. Ao final deste trabalho, os resultados revelam sobre as bases de dados utilizadas que: a base de dados CRESESB e SOLCASTTMY se encontram de acordo com uma margem de erro pequena (abaixo dos 2%), enquanto PVGIS, NREL estão bem distantes do valor almejado (acima dos 5%), facilitando assim a escolha de qual base de dados utilizar em posteriores estudos de geração de usinas fotovoltaicas no Ceará.

Palavras-chave: energia solar; bases meteorológicas; geração fotovoltaica; simulações.

ABSTRACT

The study begins with the introduction of basic concepts about photovoltaic generation, photovoltaic systems and all the components that compose it, also analyzing how meteorological bases and typical meteorological years are formatted that are used as a basis for solar energy simulations. Then, a 3D modeling of a solar plant installed on the ground was carried out, in the city of Aquiraz-Ce, with 75.9kWp of power and then performed 8 simulations varying the database. After modeling, the results were compared with the actual values obtained at the plant. The results ranged from -5.41% below the generation to 8.59% above the expected value. The database with the highest accuracy being the CRESESB reaching the value of 0.36% of difference. At the end of this work, the results reveal about the databases used that: the CRESESB and SOLCASTMY databases are in agreement with a small margin of error (below 2%), while PVGIS, NREL are far from the desired value. (above 5%), thus facilitating the choice of which database to use in further studies on the generation of photovoltaic plants in Ceará.

Keywords: solar energy; weather bases; photovoltaic generation; simulations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.....	19
Figura 2 – Movimentos rotacionais do sol.....	20
Figura 3 – Composições de um módulo FV.....	23
Figura 4 – Demonstração do efeito FV.....	24
Figura 5 – Módulo solar FV de silício monocristalino.....	25
Figura 6 – Módulo solar FV de silício policristalino.....	26
Figura 7 – Modelo de inversor Fronius.....	28
Figura 8 – Esquematização de um funcionamento de um sistema fotovoltaico.....	29
Figura 9 – Sistema fotovoltaico <i>on-grid</i>	30
Figura 10 – Sistema fotovoltaico <i>off-grid</i>	31
Figura 11 – Sistemas FV híbridos.....	32
Figura 12 – Pvsyst® Photovoltaic Software.....	38
Figura 13 – Desenho com Sketchup.....	39
Figura 14 – Exemplo de formação de um TMY.....	41
Figura 15 – Local da usina.....	43
Figura 16 – Sistema Fotovoltaico Tapera.....	43
Figura 17 – Esquema 3D da UFV Tapera	46
Figura 18 – Locais de bases de dados da BSRN para validação dos dados	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação de Irradiação Global Horizontal (kWh/m ² /mês)	53
Gráfico 2 - Comparação de geração por dados solarimétricos.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Geração Distribuída de energia fotovoltaica no Brasil por Estado	21
Tabela 2	– Gerações das tecnologias das células fotovoltaicas.....	21
Tabela 3	– Características de um módulo solar FV de silício monocristalino.....	25
Tabela 4	– Características de um módulo solar FV de silício policristalino.....	27
Tabela 5	– Módulo Trina Solar - TSM-PE15H 345W.....	44
Tabela 6	– Inversor Huawei - SUN2000-60KTL-M0.....	45
Tabela 7	– Dados do Circuito do SFV Tapera.....	45
Tabela 8	– Parâmetros Fixos do sistema e da simulação.....	48
Tabela 9	– Parâmetros para as variáveis de simulação.....	50
Tabela 10	– Dados de medição de geração do <i>datalogger</i> Solarview.....	51
Tabela 11	– Valores de irradiação Global Horizontal	52
Tabela 12	– Comparação de geração variando as bases de dados.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa tensão (220/127V, 380/220V)
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CD	Custo de Disponibilidade (30 kWh, 50kWh ou 100 kWh em sistemas de baixa tensão monofásicos, bifásicos ou trifásicos, respectivamente)
CE	Ceará
CI	Carga Instalada
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
FP	Fator de Potência
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
HSP	Horas de sol pleno
IDG	Corrente nominal do disjuntor de entrada da unidade consumidora em ampères (A)
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
kW	kilo-watt
kWh	kilo-watt-hora
kWp	kilo-watt-pico
LID	<i>Light Induced Degradation</i>

MicroGD	Microgeração distribuída
MT	Média tensão (13.8kV, 34.5 kV)
m-Si	Silício Monocristalino
NF	Fator referente ao número de fases, igual a 1 para sistemas monofásicos e bifásicos ou $\sqrt{3}$ para sistemas trifásicos
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
NSRDB	<i>National Solar Radiation Database</i>
PR	Para-raios
PRODIST	Procedimento de Distribuição
QDCA	Quadro de Distribuição de Corrente Alternada
QDCC	Quadro de Distribuição de Corrente Contínua
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QGD	Quadro Geral de Distribuição
REN	Resolução Normativa
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Elétricas
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potência
UC	Unidade Consumidora
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMP	Tensão de Operação de módulo fotovoltaico em volts (V)
VN	Tensão nominal de atendimento em volts (V)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivo Geral	18
1.2	Objetivo Específicos	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Recurso Solar	19
2.2	Tecnologia Solar Fotovoltaica	22
2.3	Módulos FV	23
2.3.1	<i>Silício Monocristalino</i>	<i>24</i>
2.3.2	<i>Silício Policristalino</i>	<i>26</i>
2.4	Inversor	27
2.5	Funcionamento dos sistemas fotovoltaicos	28
2.6	Tipos de sistemas fotovoltaicos	29
2.6.1	<i>Sistema on-Grid</i>	<i>29</i>
2.6.2	<i>Sistema off-Grid</i>	<i>30</i>
2.6.3	<i>Sistema Híbrido</i>	<i>31</i>
2.7	Perdas	33
2.7.1	<i>Perdas térmicas</i>	<i>33</i>
2.7.2	<i>Perdas Ôhmicas ou Resistência elétrica</i>	<i>34</i>
2.7.3	<i>Perdas por LID</i>	<i>34</i>
2.7.4	<i>Perdas por descasamento</i>	<i>35</i>
2.7.5	<i>Perdas por IAM</i>	<i>35</i>

2.7.6	<i>Perdas por indisponibilidade</i>	35
2.7.7	<i>Perdas por envelhecimento</i>	36
2.7.8	<i>Perdas por sujidade</i>	36
2.8	Softwares de trabalho	36
2.8.1	<i>Pvsyst® Photovoltaic Software</i>	37
2.8.2	<i>SketchUp</i>	38
2.9	Bases Meteorológicas	40
3	Metodologia	42
3.1	Visão Geral do Sistema	43
3.1.1	<i>Especificação dos módulos</i>	44
3.1.2	<i>Especificação do inversor</i>	45
3.1.3	<i>Dimensionamento do sistema</i>	45
3.1.4	<i>Modelagem do sistema</i>	46
3.2	Parâmetros fixos	47
3.2.1	<i>Perdas Térmicas</i>	47
3.2.2	<i>Perdas Ôhmicas ou Resistência elétrica</i>	47
3.2.2	<i>Perdas por LID</i>	47
3.2.3	<i>Perdas por descasamento</i>	47
3.2.4	<i>Perdas por IAM</i>	48
3.2.5	<i>Perdas por indisponibilidade</i>	48
3.2.6	<i>Perdas por envelhecimento</i>	48
3.2.7	<i>Perdas por sujidade</i>	48

3.3	<i>Parâmetros Variáveis</i>	49
3.3.1	<i>Variações em função das Bases meteorológicas</i>	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Comparação das Bases Solarimétricas	51
4.2	<i>Comparação da geração elétrica</i>	53
5	Conclusão	58
6	Sugestões para futuros trabalhos	59
7	REFERÊNCIAS	60
8	ANEXOS	71

1 INTRODUÇÃO

É notório o quanto a energia solar se tornou uma fonte importante nas últimas décadas em todo o mundo, tornando-se assim uma das fontes renováveis com maior potencial energético a ser explorado, pois, com a sua difusão e com o aumento de sua tecnologia, houve um barateamento dos equipamentos e, conseqüentemente, tanto usinas residenciais quanto usinas comerciais se tornaram extremamente viáveis economicamente.

A maneira de produção de energia elétrica a partir da energia solar fotovoltaica atualmente pode ser dividida em duas formas: geração distribuída e geração centralizada. Com relação a geração distribuída, essa pode ser dividida em sistemas *on-grid* e sistemas *off-grid*, onde a principal diferença entre as duas é existência de conexão com a rede de distribuição da concessionária de energia do local (*on-grid*) ou se utiliza a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos para armazenamento em baterias (*off-grid*). As resoluções n°482 e n°517, aprovadas pela ANEEL em 2012 e posteriormente a n°687/2015, regulamentam as condições da geração distribuída (micro e minigeração) e o sistema de compensação, onde a geração de energia excedente gera créditos que podem ser utilizados pela mesma unidade consumidora ou por outra que esteja sob mesma titularidade que a unidade geradora.

Segundo a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), atualizado em julho de 2021, informa que há hoje 520.596 sistemas de solares fotovoltaicos conectados à rede e com a tendência de crescer cada vez mais, com previsão de atingir 32% da matriz energética brasileira (Aldo Solar, 2019). Para alcançar patamares cada vez maiores, é necessário o avanço também das simulações e desenvolvimento de softwares na área.

Nas últimas décadas, as simulações computacionais têm se destacado bastante em todos os ramos da Engenharia. A simulação é um recurso precioso onde, a partir de modelos matemáticos condizentes com o problema, é possível prever fenômenos e situações com certa confiabilidade. Outro ponto importante é que a simulação pode ser feita inúmeras vezes sem ser oneroso como seria se esses testes fossem colocados a prova em escala real. O uso e o alcance de simuladores cresceram bastante, pois, os softwares estão se tornando mais baratos e mais fáceis de serem utilizados.

No ramo da Energia Solar, há inúmeros softwares para simulação no mercado disponíveis, tais como, *Pvsyst*®, *Solar Pro*®, *Solergo*®, *PVSol*®, *Homer*®, *SolarDesignTool*®, dentre outros. Este trabalho será focado na utilização de um dos maiores softwares utilizados mundialmente, o *Pvsyst*®.

Todos os softwares citados acima necessitam de dados base para realizar todos os cálculos necessários e obter assim uma simulação. Assim como existem vários softwares de simulação, existem também bastantes bases meteorológicas em que é possível extrair esses dados importantes, tornando o ato da simulação bem mais complexo pois há uma variação entre os valores obtidos nessas bases de dados. Portanto, é de suma importância para ter a real viabilidade técnica e financeira de um projeto a definição da utilização da base de dados correta para o local a ser instalado.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho realiza um comparativo entre os resultados obtidos de simulações realizadas nos softwares *Pvsyst*® com várias bases de dados a fim de determinar se há uma confiabilidade nos resultados em relação a uma usina.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho:

- Analisar as simulações propostas por *software* específico de energia solar fotovoltaica;
- Averiguar valores simulados com a geração de uma usina em funcionamento;
- Testar os dados de entrada das simulações e consequências na simulação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

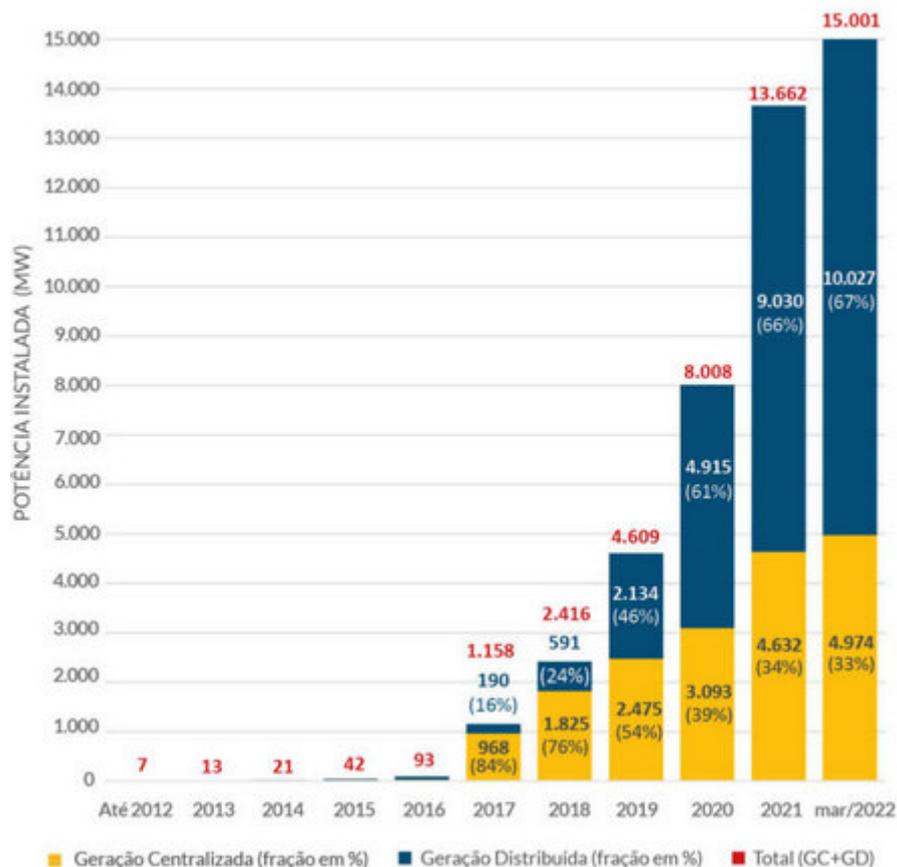
Neste capítulo serão abordados os principais aspectos da fundamentação teórica do presente trabalho, explicitando alguns termos mais gerais acerca da energia solar e alguns softwares utilizados no processo de modelagem dos projetos.

2.1 Recurso solar

A energia solar vem crescendo bastante no Brasil, como mostra a Figura 1. O crescimento, tanto da geração distribuída (GD), quanto da geração centralizada (GC) fizeram a fonte solar FV de GC, ultrapassar a participação do carvão mineral na matriz elétrica brasileira (ANEEL; ABSOLAR, 2022).

De acordo com Matavelli (2013), um fator preponderante relacionado ao uso da energia solar no Brasil, é a exposição às irradiações próximas à linha do equador, devido à localização do País.

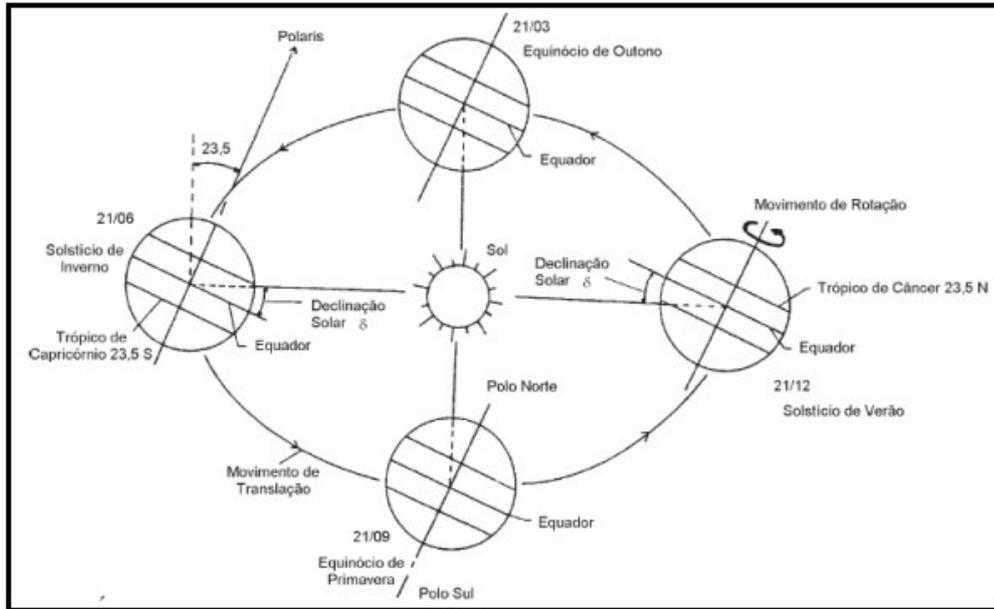
Figura 1 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ABSOLAR/ANEEL, 2022

A incidência de raios solares está relacionada aos movimentos rotacionais do Sol e da Terra, algo que contribui para que o Brasil seja agraciado com uma irradiação significativa, por estar localizado no cinturão solar, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Movimentos rotacionais do sol.



Fonte: MATAVELLI, 2013

Observando a Tabela 1, nota-se o quanto o Ceará ainda contribui pouco no setor solar, com apenas 3,5% da produção total do Brasil. O Ceará, por ser geograficamente bem localizado, recebendo altos índices de irradiações solares, apresenta ser motivos para maiores investimentos no setor de energia solar, investigando e analisando todas as potencialidades do Estado, dessa forma, pode-se lograr resultados aquém do esperado, tornando o estado autossustentável, por exemplo. Segundo Connor O'Neill (2022), é projetado que a energia solar poderia fornecer 45% da energia solar. a eletricidade nos Estados Unidos até 2050 se o sistema de energia for totalmente descarbonizado – e os custos de tecnologia deverão continuar a diminuir.

TABELA 1 – Geração Distribuída de energia fotovoltaica no Brasil por Estado

Estado	Potência instalada da Geração Distribuída (GD)	Percentual (%)
Minas Gerais	720.709,29	19,7
São Paulo	458.140,10	12,5
Rio Grande do Sul	456.879,56	12,5
Mato Grosso	276.163,53	7,5
Paraná	260.245,26	7,1

Goiás	202.159,87	5,5
Santa Catarina	188.185,63	5,1
Rio de Janeiro	143.237,67	3,9
Ceará	129.435,91	3,5
Bahia	125.744,65	3,4
Outros Estados brasileiros	700.688,60	19,1

Fonte: ADAPTADO DE ECOA ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2020

2.2 Tecnologia Solar Fotovoltaica

Lira et al. (2019) relatam que as constantes implementações no setor energético brasileiro, diz respeito aos desenvolvimentos em tecnologias que buscam otimizar a geração de energia.

Sousa (2018) apud Segundo Programa Altener (2004), descreve 3 tipos de gerações, estas ligadas às tecnologias fotovoltaicas, mais precisamente introduzidas nos processos produtivos de células e módulos fotovoltaicos, conforme pode ser observado na Tabela 2.

TABELA 2 – Gerações das tecnologias das células fotovoltaicas

Geração	Características
Primeira	Nessa modalidade, sendo a mais utilizada, com um percentual de 85 atuante no mercado fotovoltaico, possui dois tipos, ou seja, silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (pSi). O que torna essa geração tão usada, diz respeito à confiança nos produtos, bem como nas comprovadas eficiências e eficácias no setor comercial.
Segunda	Nesse segundo nível produtivo, tem-se uma denominação de filmes finos, cujas conotações deram-se por termos comerciais. Entretanto, sua divisão pode ser conhecida por 3 etapas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Em comparação com o “domínio” da primeira geração, não é tão significativa uma porcentagem participativa no mercado de energia solar, pois apresenta uma baixa eficiência. Isso, deve-se a algumas peculiaridades, como, por exemplo, pouca

disponibilidade dos materiais, menor vida útil, em termos do que cada célula pode render, além do mais, existem os fatores ligados a toxicidade pelo cádmio, tendo em todos esses aspectos, limitações do seu crescimento mercadológico.

Terceira Essa geração, ainda figura em processos de análises e pesquisas, mais precisamente, sendo testada em quantidades produtivas pequenas. Tem três divisões: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*). Embora haja comprovações aliadas a tecnologia CPV, atestando sua eficiência, mesmo assim, em termos competitivos, não se equiparam com as tecnologias que atuam em maiores escalas no mercado fotovoltaico, o que a torna, de certa forma, difícil de ser comercializada.

Quarta A tecnologia de célula solar de quarta geração também é chamada de tecnologia de célula solar 4G. Esta tecnologia faz uso da combinação de materiais inorgânicos e orgânicos, como meio de aumentar a eficiência e custo-benefício das células solares e são caracterizadas pela flexibilidade de filmes de polímeros condutores (os materiais orgânicos) e as nanoestruturas estáveis (materiais inorgânicos). Vários compostos absorvedores solares têm sido usados para a fabricação de células solares 2D, como CdTe (Telureto de cádmio), Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) (sulfeto de estanho de zinco e de cobre) (KHALED;KATE; DEOKATE, 2018).

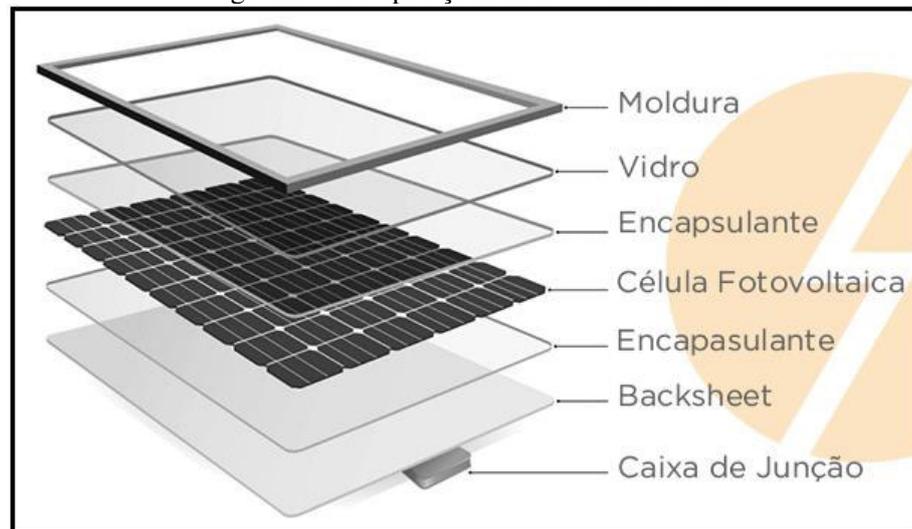
Fonte: ADAPTADO DE SOUSA (2018) APUD SEGUNDO PROGRAMA ALTENER (2004)

As tecnologias surgem como fortes aliadas, diante das perspectivas evolutivas atreladas ao crescimento, consumo e atrativos do setor elétrico, podem resultar em avanços sistêmicos e contínuos, procurando beneficiar todas as partes envolvidas nesses processos.

2.3 Módulos FV

Conforme aponta Pinto (2015), a conversão dos raios solares em eletricidade realizada por células FV é obtida a partir de processos envolvendo material semicondutor. O conjunto de células formam um módulo FV, observado na Figura 3.

Figura 3 – Composições de um módulo FV.



Fonte: PORTAL SOLAR, 2022

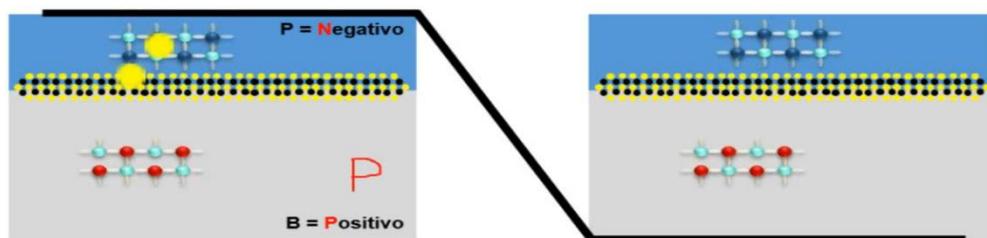
Um dos principais componentes que estão presentes na conversão solar/elétrica é o silício, o qual possui uma ampla e contundente performance, ao absorver a luz do sol e gerar eletricidade. As células solares são uma sequência de diodos dopados do tipo N e do tipo P, que formam uma estrutura cristalina com um arranjo atômico de silício, fósforo e boro. Após o processo de dopagem, as células do tipo P possui uma lacuna de elétron e as células do tipo N se ligam com o núcleo de fósforo que se torna pentavalente e com isso um elétron livre é criado (energia) (LIMA et al, 2019, p. 01).

Ocorre então a junção das células PN, onde as lacunas se combinam, conectando uma célula a outra através de um elemento condutivo. Há então uma diferença de potencial, com tendência de o elétron fluir entre as células e, com isso, é possível criar a tensão, entretanto ela não é o suficiente para o elétron se movimentar. Então, exposto a luz solar, essa ligação ganha força para que esse elétron seja deslocado e assim haja corrente (Canal Solar, 2019). Com tensão e corrente, há potência.

Este processo de conversão de luz em energia que os módulos realizam é denominado de efeito FV. Ele ocorre com a presença de materiais semicondutores, que se caracterizam pela presença de bandas de menor (banda de valência) e de maior nível de energia (banda de condução) (EZZATI et al., 2018). O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se

caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina (Özcan et al., 2021). Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n (CÂMARA, 2011, p. 19- 20). Um esquema demonstrativo do efeito FV pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Demonstração do efeito FV.



Fonte: PORTAL SOLAR, 2022

De acordo com Xavier (2021), o Brasil possui grandes vantagens no setor fotovoltaico, contudo, ainda persiste uma maior produção de energia elétrica, através do sistema hidrelétrico, ou seja, existem uma determinada dependência dessa forma energética. Porém, com os alcances das tecnologias, os avanços dos módulos FV, estão seguindo uma maior celeridade, bem como atender as perspectivas do setor. De geração em geração, desde seu surgimento, as fontes e alternativas de energia limpas, a exemplo da energia solar, se confirmam como os reais e concretos caminhos para as respostas do setor elétrico, com isso, uma gama de equipamentos vai sendo idealizada, transformando para melhor as oportunidades de exploração do mercado solar.

2.3.1 Silício Monocristalino

Bruschi et al (2011) apud Hering (2009), relatam um crescimento relativamente grande, no que tange aos processos produtivos de células fotovoltaicas, com isso, enfatizam uma taxa de 40 % a 60 % de incrementos no setor. Em números, tomando por base o ano de 2010, teve uma produção na casa dos 27 GW em células solares, podendo até mesmo superar essas expectativas. O material que mais foi usado para confeccionar esses equipamentos, diz respeito às lâminas de silício cristalino, mais precisamente tipo P, dopadas com Boro.

A grande maioria das células solares industriais é fabricada em lâminas de silício cristalino tipo p, dopadas com boro. Esta dopagem foi estabelecida como padrão nos anos 70,

com o uso inicial das células solares para aplicações espaciais, devido à resistência ao impacto de partículas ionizantes. Nos últimos anos, pesquisas também estão sendo voltadas para o desenvolvimento de tecnologias de fabricação de células solares em lâminas de silício monocristalino e multicristalino tipo n. Este substrato é dopado com fósforo, sendo potencialmente mais estável que o atualmente utilizado que é de tipo p, dopado com boro [...] (Bruschi et al 2011, p. 777). A diferença entre um módulo de silício monocristalino e um policristalino pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Módulo solar FV de silício monocristalino.



Fonte: ELETRICAMPOS, 2020

A tabela 3 evidencia as principais características dos módulos FV monocristalino.

Tabela 3 - Características de um módulo solar FV de silício monocristalino.

Material	Características
<p>MONOCRISTALINO: Nesse tipo de módulo, utiliza-se de um único cristal de silício ultrapuro, (lingotes de silício de forma cilíndrica)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • tecnologia mais antiga no setor FV; • forma arredondada nos cantos de sua superfície, bem como cor uniforme. O silício empregado é de alta pureza; • Cada módulo apresenta formações de série e paralelo; • 15 – 22% de eficiência média. • Vantagens: Possuem, enquanto tecnologia do setor de energia solar, a mais alta rentabilidade; os espaços que ocupam nas placas são mínimos. Mesmo com intensidade de luz pouca, os rendimentos não são comprometidos.

	<ul style="list-style-type: none"> • Desvantagens: Em termos de precificação de mercado, estão entre os mais caros, com isso, os módulos policristalinos ganham notoriedade nesses aspectos; no que tange aos processos produtivos, o processo Czochralski, usado para produzir silício monocristalino, ainda causa grandes desperdícios de energia na sua fabricação.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

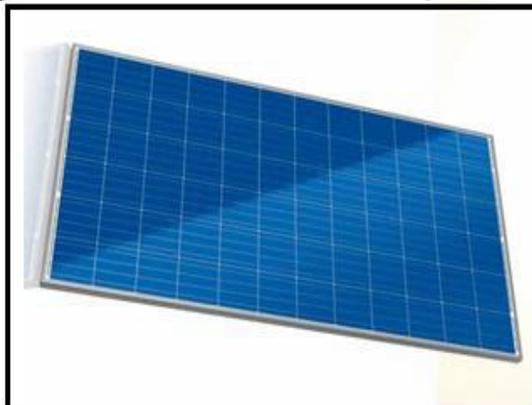
ELETRICAMPOS, 2020

2.3.2 Silício Policristalino

Lüdke (2018) apud Carvalho; Mesquita e Rocio (2014), descrevem algumas caracterizações sobre o silício. Em seu estado natural, possui uma constituição de compostos minerais, tendo que ser trabalhado, para ser utilizado em módulos ou células fotovoltaicas. O que chama a atenção, reside no fato de o silício ser o segundo maior elemento abundante na Terra, apenas atrás do oxigênio.

Um pouco menos eficiente que as células monocristalinas, aproximadamente $20,4 \pm 0,5\%$ de eficiência, obtendo uma estrutura física um pouco maior, ocupando um pouco mais de espaço para gerar a mesma eficiência do que a monocristalina. O reconhecimento das placas solares que são constituintes de células policristalinas é de fácil reconhecimento a olho nu, na qual ele se tem uma coloração a mais clara quando comparada com a de material silício policristalino (BANDEIRA, 2019, p. 19-20). O módulo FV policristalino pode ser observado na Figura 6:

Figura 6 – Módulo solar FV de silício policristalino



Fonte: ELETRICAMPOS, 2020

A tabela 4 evidencia as principais características dos módulos FV policristalino.

Tabela 4 - Características de um módulo solar FV de silício policristalino

Material	Características
<p>POLICRISTALINO: Nesses processos, funde-se os cristais de silício em um bloco, o que acarreta a preservação de uma formação de múltiplos cristais, por isso, denomina-se policristalino.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● foram os primeiros módulos solares a serem construídos, em meados de 1981. ● são mais fáceis de serem fabricados do que os monocristalinos. ● Tem uma eficiência média em 14 – 20%, ● Vantagens: produzem menos resíduos comparado com a produção das células monocristalinas. Em termos de preços e mercados, os painéis policristalinos costumam ser mais baratos do que os painéis monocristalinos; sua vida de utilização pode passar dos 30 anos, com uma garantia de fábrica de 25 anos. ● Desvantagens: sua eficiência, está entre 14 e 20%, isso é devido a menor pureza do polisilício. Possuem uma produção de Watts/hora por m² menor.

Fonte: ELETRICAMPOS, 2020

2.4 Inversor

De acordo com Villalva (2019), assim como cada equipamento e as funções com que precisam ser desempenhadas, existem normas que procuram regularizar tudo isso, uma vez que, para atender as demandas e necessidades das pessoas, empresas e da própria sociedade, faz-se necessário acompanhamentos e ajustes técnicos. Nesse sentido, os inversores, são componentes essenciais nos sistemas fotovoltaicos, atuando com suas especificações, conforme as diretrizes da norma NBR 16149, a qual regulamenta as funcionalidades e demais características dos sistemas (FV), mais precisamente no que compete às interface conectivas, entre as redes de distribuição elétrica, os painéis solares e as formas com que se entrelaçam.

Em cada situação em que for preciso o uso de inversores, é preciso algumas observações técnicas, isso, desde a escolha do equipamento, onde ele será instalado e os cuidados em mantê-lo longe do sol, água e calor. Enquanto parte de um sistema, as corretas especificações dos fabricantes, as especificações garantem sua boa funcionalidade, bem como seu tempo de vida

útil, principalmente a segurança das pessoas nas residências e demais locais onde estejam instalados.

Cada parte que é criada, ligada e elaborada nas plantas FV, possui suas especificidades, ou seja, constituem-se em uma organização simétrica, onde cada componente executa suas ações, contribuindo para a eficiência do sistema. No que cabe aos inversores, convertem a corrente contínua produzida pelos módulos FV em corrente alternada com os parâmetros devidamente regulados para uso. Tecnicamente, assim falando, tudo que é gerado pelos painéis fotovoltaicos, constituem-se em corrente contínua (CC), onde, ao passarem pelo inversor, assumem a forma de corrente alternada (CA). Contudo, esses equipamentos ainda dar uma certa segurança nesses processos, bem como inferir em termos de medidas, os montantes de energias geradas pelos módulos ou painéis solares (SOLSTAR, 2021). Um modelo de inversor comercial amplamente utilizado pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Modelo de inversor *Fronius*.

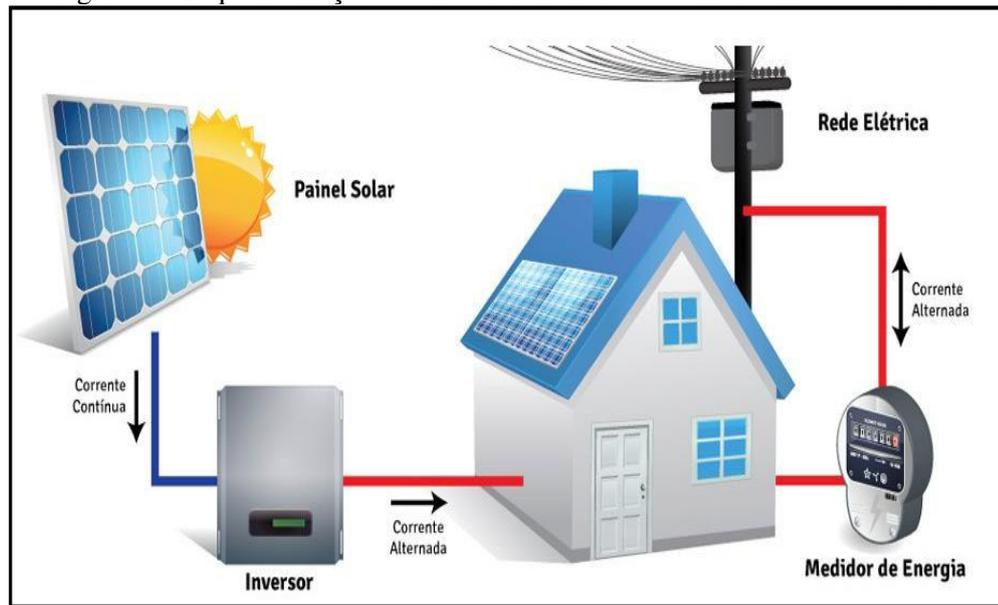


Fonte: SOLAR PRO ENGENHARIA, 2020

2.5 Funcionamento dos sistemas fotovoltaicos

A Figura 8 é um esquema de funcionamento de uma usina fotovoltaica instalada em GD, modalidade de geração mais frequente atualmente no Brasil.

Figura 8 – Esquematização de um funcionamento de um sistema fotovoltaico



Fonte: RIBSOL ENERGIA SOLAR, 2022

Sob a nomenclatura de sistema de energia solar, ou mesmo FV, constitui-se de um projeto e estruturas, onde é possível captar os raios solares, por meio de equipamentos apropriados para isso, ou seja, desenvolvidos com tecnologias que são capazes de transformar a irradiação solar em eletricidade para quaisquer tipos de consumidores, sempre levando em questão os locais geográficos com maior intensidade solar. Podendo suprir as demandas residências, comerciais e industriais, ainda existindo a possibilidade de negociar o excedente produzido, isso, ligando-se a rede de distribuição convencional.

2.6 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Com os sucessivos avanços tecnológicos e em estudos científicos, os campos das energias alternativas, estão passando por sucessivas adequações, tendo como enfoques específicos, atender a todas as demandas existentes. Dessa forma, os chamados e bem conhecidos sistemas fotovoltaicos, apresentam três categorias, ou seja, os sistemas isolados, híbridos e conectados à rede. Todos eles precisam estar ligados a diretrizes e normas, principalmente, quanto às necessidades de obtê-los, pois, os critérios finais na escolha do mais apropriado, resulta de fatores bem distintos de custo-benefício.

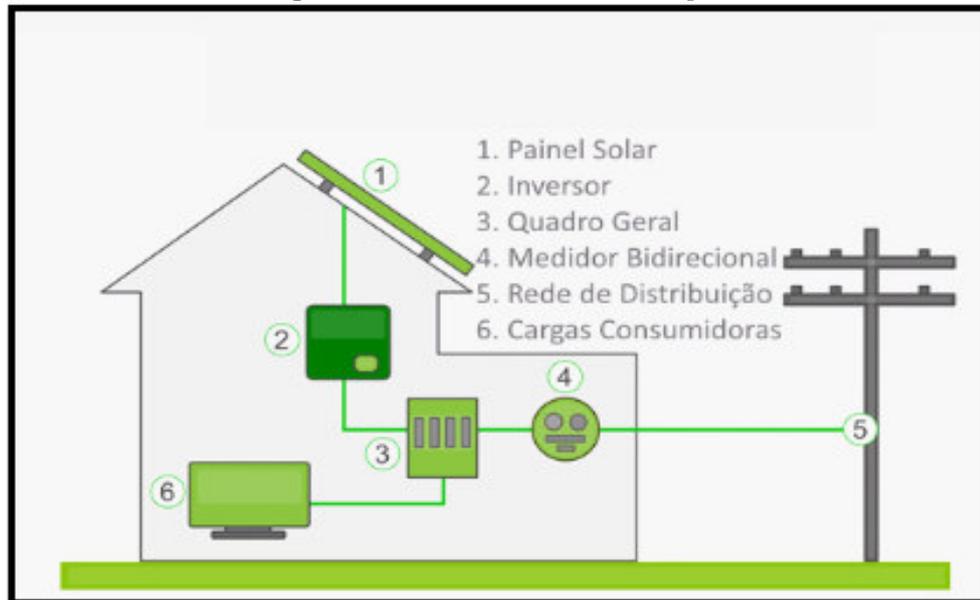
2.6.1 Sistema *on-Grid*

Uma vez gerada a energia a partir das células FV é preciso optar o meio através do qual ela será utilizada. O sistema FV se divide em dois meios de geração e consumo: on grid e off grid. No método on grid, a energia gerada não consumida passa por um wattímetro bidirecional que lança o excedente nas linhas de transmissão provocando equivalente redução na conta de

energia. Já no método off grid a energia é armazenada em baterias CC, convertida em ac e então consumida (BORTOLOTO, 2017, p. 01).

Cada um desses sistemas, possuem suas peculiaridades, onde, no sistema on-grid, existe uma determinada dependência e ligação vital com a rede elétrica convencional, ou seja, o mesmo só funciona quando estiver ligado à rede, caso contrário, se houver um pane ou algum problema que provoque a falta de energia elétrica, o sistema para de fornecer eletricidade para um imóvel e seus equipamentos internos, algo que limita em muito em condições adversas. Na falta de energia de uma concessionária que distribui eletricidade para dada localidade ou região, o sistema on-grid se desconecta da rede da distribuidora, como também paralisa o fornecimento de energia elétrica para o local instalado. O retorno da alimentação energética, só se dá também com a normalização dessa situação por parte da concessionária. A Figura 9 ilustra um sistema FV *on grid*.

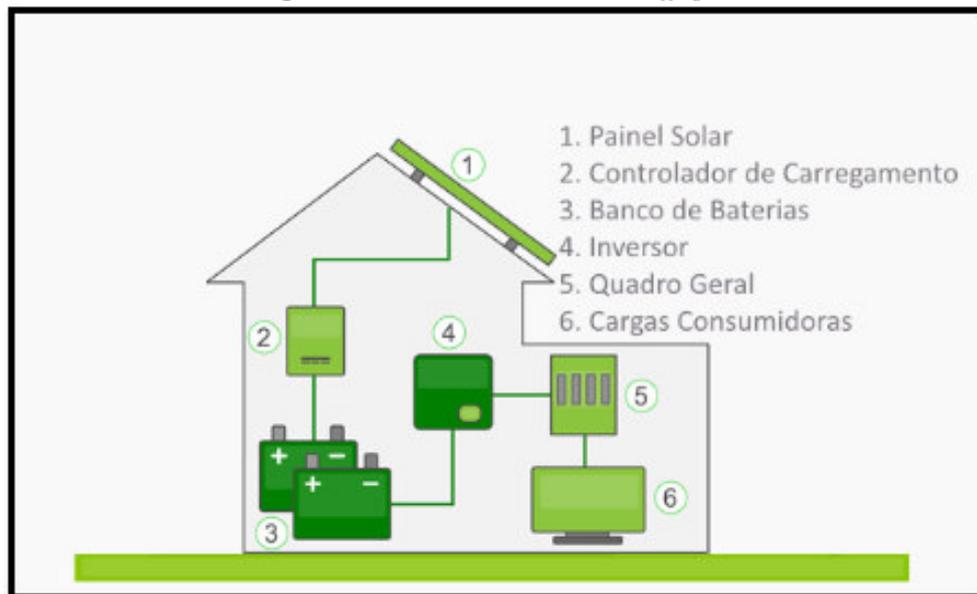
Figura 9 – Sistema fotovoltaico *on-grid*



Fonte: ALFA ENGENHARIA, 2022

2.6.2 Sistema *off-grid*

Ao comparar as Figuras 9 e 10 (representada abaixo), nota-se a principal diferença entre os sistemas on-grid e off-grid: a dependência da rede da concessionária que o sistema on-grid possui.

Figura 10 – Sistema fotovoltaico *off-grid*

Fonte: ALFA ENGENHARIA, 2022

Um sistema off grid depende unicamente da radiação solar para gerar energia elétrica através dos módulos FV. Esse tipo de sistema, geralmente, possui um sistema de armazenamento de energia constituído por um banco de baterias e necessita, dependendo da aplicação, de controladores de carga e inversores CC/CA. O sistema off grid para geração de energia é caracterizado por não se conectar à rede elétrica. Assim, ele abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia, e são, geralmente, construídos com um propósito local e específico (BORTOLOTO, 2017, p. 03-04).

Podem ser apresentados por um sistema com ou sem bancos de baterias. Com o de bateria, pode-se utilizá-lo para carregar baterias de veículos elétricos, alimentar vias públicas com iluminação, sendo que também pode vir a ser útil para alguns tipos de pequenos equipamentos portáteis. Porém, o que não se utiliza de bateria, direciona-se em sua grande maioria para bombear água, bem como ser usado em telefones públicos rodoviários.

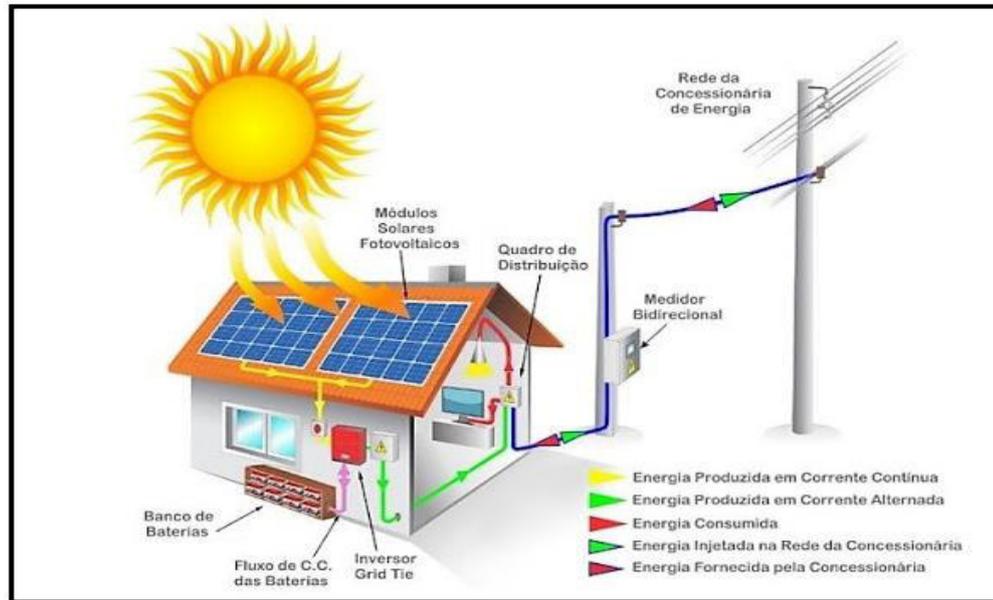
2.6.3 Sistema híbrido

Nessa modalidade de se obter uma alternativa energética, os sistemas solares híbridos, podem gerar eletricidade como qualquer outro sistema FV, contudo, com a diferença de também estar ligado à rede elétrica convencional. Tem a capacidade de armazenar energia excedente, ou seja, o que for produzido e não utilizado, pode servir para outro momento, como, por exemplo, caso haja uma falta de eletricidade.

No que concerne à terminologia da palavra híbrido, diz respeito ao uso de duas fontes energéticas, algo que tem evoluído de uma forma consistente e à altura das necessidades dos

mercados consumidores de energias limpas, suprindo não somente as carências do setor elétrico convencional, como também motivando maiores investimentos nesse setor competitivo. A Figura 11 ilustra um exemplo de sistema FV híbrido.

Figura 11 – Sistemas FV híbridos



Fonte: OCA SOLAR ENERGIA, 2021

Cabe salientar que, o sistema FV híbrido, difere em muito daquele que antigamente tinha esse nome, mais precisamente sob o enfoque do uso somente do sol e dos ventos. Com os aportes e avanços que se tem, os consumidores têm à sua mercê aplicações específicas e equipamentos que correspondem às necessidades para cada demanda e investimento, bem como poder contar com uma capacidade de guardar energia produzida e que não foi usada.

Em outras palavras, esse tipo de sistema de geração solar caracteriza-se pelo sistema on-grid e off-grid ao mesmo tempo, ou seja, conecta-se à rede convencional e aos módulos FV. Essa forma de se obter energia, demonstra o quão é essencial investimentos em progressos responsávelmente bem elaborados, dos quais trazem muitas vantagens, sem, contudo, comprometer os equilíbrios e sintonias entre todos, inclusive as forças da natureza e todos os ecossistemas existentes.

2.7 Perdas

As perdas elétricas são comuns em praticamente todos os sistemas de geração elétrica e/ou conversão de energia, pois, na conversão de um tipo de energia para outro, neste caso de energia solar para energia elétrica, é comum que, haja, por exemplo, perdas por efeito Joule. A seguir, serão abordadas as principais perdas presentes nos sistemas de energia fotovoltaica.

2.7.1 Perdas térmicas

Sinteticamente, uma das principais perdas que influenciam na geração ocorre por um balanço de energia entre a temperatura ambiente e o aquecimento da célula devido a irradiação solar incidente nele:

$$U * (T_{cell} - T_{amb}) = \alpha * G_{eff} * (1 - E) \quad (1)$$

onde:

- U - Coeficiente de perda térmica;
- T_{amb} - temperatura ambiente, referenciada a partir da base de dados;
- G_{eff} - é a irradiância no módulo ou painel fotovoltaico, referenciada a partir da base de dados;
- α - Coeficiente de absorção solar;
- E - Eficiência do módulo fotovoltaico;

O coeficiente de perda térmica pode ser dividido em um componente constante U_c é um fator que é proporcional ao valor do vento U_v:

$$U = U_c(W/m^2k) + U_v(W/m^2k) * v(m/s) \quad (2)$$

Esses fatores térmicos dependem do modo como os sistemas são instalados (galpões, coberturas, fachadas, dentre outros). Para livre circulação de vento, como em instalações de solo, o coeficiente se refere a ambos os lados dos módulos, duplicando a área do módulo.

A determinação dos valores de U_c e U_v é um ponto bem delicado, pois, para casos de módulos bem rente a alguma estrutura (integrados), é complexo escolher o valor que seja condizente com o duto de ar que passa por baixo dos módulos e qual seria o caminho que o ar trespassa por ele. O uso da dependência do vento U_v também é muito difícil. O conhecimento confiável da velocidade do vento é extremamente raro e a velocidade do vento de "qualidade meteorológica" (medida a 10 metros de altura em ambiente livre) não é representativa da velocidade no nível dos módulos, não sendo possível ser utilizado com precisão (PVSYST, 2016).

2.7.2 Perdas Ôhmicas ou Resistência elétrica

Por resistência, compreende-se a dificuldade que os portadores de carga negativa possuem em atravessar de um ponto a outro de um determinado corpo. Esse impedimento pode variar de acordo com o comprimento, área e o tipo de material que o corpo é constituído. Dessa forma, é possível obter a seguinte equação que descreve a resistência elétrica (GIROTTI;

SANTOS, 2002).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3)$$

Onde:

ρ = Resistividade do material. [$\Omega \cdot m$]

L = Comprimento [m]

A = Área [m^2]

Ainda segundo Giroto e Santos (2002), as perdas Ôhmicas são responsáveis por causar o efeito Joule, ocasionando perdas por calor nos condutores.

2.7.3 Perdas por LID

LID (*Light Induced Degradation*) é uma perda de performance que emerge nas primeiras horas de exposição ao sol. Essa perda é capaz de alterar o comportamento real dos painéis em relação às informações finais de ensaios fornecidos por alguns fabricantes de módulos fotovoltaicos. Se os módulos forem classificados de consenso com seu teste final de fábrica para impor sua classe de potência nominal, o LID representará de fato uma perda em relação ao STC. (CHEN et al., 2019)

A perda de LID está vinculada à qualidade da fabricação do *wafers* de silício, podendo ser da ordem de 1% a 3% (ou até mais) (PVSYST, 2016).

As perdas LID são devido a vestígios de Oxigênio existente no Silício fundido durante o processo de fabricação. Sob o efeito de exposição à luz, esses dímeros de oxigênio carregados positivamente podem se espalhar pela rede cristalina do silício e criar complexos com aceptores de dopantes de boro. Os complexos boro-oxigênio criam seus próprios níveis de energia na rede do silício e podem capturar elétrons e lacunas que são perdidos pelo efeito fotovoltaico. O efeito LID só surge com *wafers* convencionais dopados com boro do tipo p. As tecnologias não convencionais que usam *wafers* dopados do tipo n (como, por exemplo, células monofaciais *SunPower*) não são afetadas (LILLO-SÁNCHEZ et al., 2021).

2.7.4 Perdas por descascamento (*mismatch*)

A perda por incompatibilidade, *mismatch*, se deve principalmente ao fato de que em uma string de módulos a corrente mais baixa conduz a corrente de toda a string.

Agora, ao instalar módulos reais em campo, as características de cada módulo nunca são rigorosamente idênticas. Os parâmetros (I_{sc} , V_{co} , P_{mpp}) geralmente apresentam distribuições estatísticas, que podem ser bastante gaussianas, ou com formato quadrado para

Pmpp, caso resultem de uma ordenação na saída do processo de fabricação. (ZHANG et al., 2021)

2.7.5 Perdas por IAM

O efeito de incidência (o termo designado é IAM, para "*Incidence Angle Modifier*") corresponde à diminuição da irradiância que realmente atinge a superfície das células fotovoltaicas, em relação à irradiância sob incidência normal. Esta diminuição deve-se principalmente às reflexões na cobertura de vidro, que aumenta com o ângulo de incidência.

A perda de transmissão é um fenômeno geral, devido à reflexão e transmissão do raio solar em cada interface do material (ar-vidro, vidro-EVA, EVA-célula), bem como alguma absorção no vidro. Isso surge para qualquer raio de incidência. Para incidência normal, a reflexão é da ordem de 5% e está incluída no desempenho do STC medido. O IAM diz respeito apenas à dependência angular deste efeito, ou seja, é normalizado para a transmissão na incidência perpendicular (ângulo de incidência 0°). (RODRÍGUEZ-MUÑOZ; BOVE; ALONSO-SUÁREZ, 2021).

2.7.6 Perdas por Indisponibilidade

Às vezes é útil prever falhas do sistema ou paradas de manutenção nas expectativas de produção. Pode-se definir uma indisponibilidade do sistema como uma fração de tempo (ou um número de dias). Tem-se a oportunidade de definir períodos específicos de indisponibilidade do sistema. A perda efetiva de energia depende, obviamente, da estação, do dia/noite ou do clima durante os períodos de indisponibilidade. Portanto, a perda de energia avaliada pela simulação não corresponderá ao tempo de indisponibilidade especificado. Portanto, a perda de indisponibilidade tem apenas um significado estatístico. (MAYER, 2021).

2.7.7 Perdas por envelhecimento

A perda por envelhecimento natural dos módulos dá-se por uma perda maior no primeiro ano (2,5%) e do segundo ano até o vigésimo quinto, uma declinação de 0,65% segundo a garantia de performance na folha de dados do módulo.

2.7.8 Perdas por sujidade

As perdas por sujidade são bastantes difíceis de calcular. A sujeira difere drasticamente com base na região em que um sistema está localizado – desde a quantidade de vento, sujeira

exposta e tráfego local, até a frequência e força da chuva e o número de aves em uma área pode ter um efeito (Gong,2019). Esse percentual pode ser dado por médias mensais ou em média anual, sendo muito importante nas simulações em geral.

Um estudo realizado analisou experimentalmente o comportamento de sujidade para instalações no estado da Califórnia, Estados Unidos (MEJIA; KLEISSL, 2013). Um dos resultados obtidos foi um valor de 7% de perda por *soiling* para instalações em todo o estado, que possui um clima árido e com ocorrência de chuvas mal distribuídas durante o ano, situação bem análoga ao local de interesse.

2.8 Software de trabalho

As muitas capacidades e cenários que estão sendo abertos, onde as tecnologias despontam como soluções e revoluções, exibem dias de profundas transformações e aquisições, ou seja, nessa rápida expansão dos sistemas ou *softwares*, conecta-se ainda mais com modernidades e avanços nos mais diversos campos e mercados, algo que, presume-se continuar com essas incursões, resultando em ganhos imensuráveis para todos, em especial para empreendimentos e negócios, dos quais necessitam de performances e agilidades em seus processos fabris ou de decisões estratégicas, por exemplo.

Nos últimos anos, alguns desafios tecnológicos tomaram forma, apontando caminhos para a formulação de grandes projetos que envolvem, gradualmente, dezenas de países. Cada uma dessas iniciativas carrega o embrião de importantes inovações que deverão mudar os sistemas de produção, as relações sociais, as relações trabalhistas, as preferências de consumo e até nossa percepção do estar no mundo. Alguns desses programas estão em seu início e são janelas de oportunidade a serem aproveitadas. São, por exemplo, a exploração racional do ambiente marinho, o mapeamento genético de seres vivos ou a identificação de fontes alternativas de energia. Outros já oferecem resultados técnicos consolidados e estão em fase de implantação em grande escala, como a televisão digital (GADELHA, 2007, p. 13).

Dadas as constantes viabilidades em tecnologias, cada vez mais procura-se atender as necessidades de cada mercado alvo, bem como de casos específicos, como, por exemplo, empreendimentos que demandam uma certa dificuldade em fatos e composições. Através de cada software, pode-se conectar com infinitas possibilidades, aplicações e funções, muitas das quais estão ligadas com funcionalidade de trabalhos e operações. Diante disso, aumentam-se as motivações para os contínuos crescimentos desse setor, impulsionando mecanismos em estudos e aportes bem diversificados. Cada segmento tecnológico, fixa-se em conceder facilidades e ferramentas, das quais tornem os cotidianos processuais, algo ágil, consistente e de fácil operação.

Os clientes de software desejam ver suas necessidades e expectativas atendidas, entregues no prazo acordado, sem custos adicionais, sem sustos e percalços e esperam

contar com suporte ao longo de todo ciclo de vida. Desta forma, para os desenvolvedores não basta uma boa campanha de marketing, um portfólio respeitável e um preço baixo; devem demonstrar competência para entregar e suportar esse produto dentro dos níveis de serviço especificados (TONINI; CARVALHO; SPINOLA, 2008, p. 276).

Conectados com cada realidade, cada *software* precisa inferir algumas necessidades e especificidades, ou seja, eles são idealizados com funções específicas, para atuarem em segmentos e práticas bem definidas, com isso, as tecnologias assumem seus devidos lugares no mundo, encurtando distâncias, otimizando recursos e acelerando processos e produções.

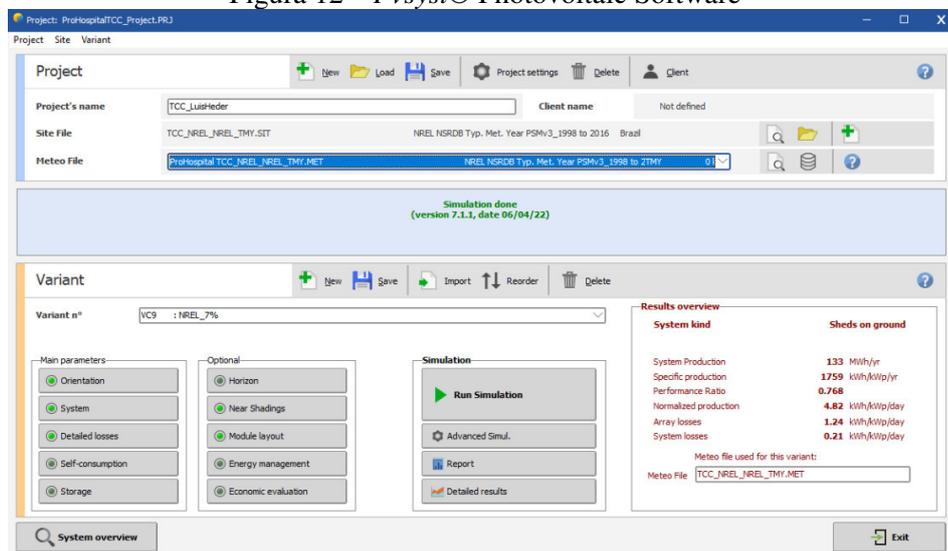
2.8.1 *Pvsyst*® Photovoltaic Software

Promover mudanças e adequações de forma qualitativa no setor fotovoltaico, traz uma diversidade em oportunidades, destas que podem ser nos mais diversos campos, desde as invenções em equipamentos solares até mesmo em aportes tecnológicos, a exemplo de programas que agreguem substanciais ações e incrementos as funcionalidades dos sistemas e demais estruturas ligadas a esse setor tão competitivo e em avanços contínuos.

Cada *software*, possui suas importâncias dada às capacidades que criam e como modificam ações e planejamentos nos mais amplos mercados. Pode-se dizer que, seja possível não haver uma área que de algum modo, não faça uso de algo tecnológico, independentemente se for direta ou indiretamente, desde que trabalhos e sinergias, sejam elevados em qualidades totais.

O *Pvsyst* R foi criado no início da década de 90 na Suíça por engenheiros e especialistas da área que almejavam criar uma plataforma virtual capaz de realizar o dimensionamento completo e a confecção detalhada de um sistema fotovoltaico, seja ele conectado ou não à rede [...] (SANTOS, et al., 2018, p. 02).

Figura 12 – *Pvsyst*® Photovoltaic Software



Fonte: O autor, 2022.

Como é possível notar na figura 12, o *Pvsyst*® foi inteiramente desenvolvido, com bases nas necessidades que estão ligadas nos projetos e dimensionamentos, trabalhos e práticas, relacionados ao setor fotovoltaicos, com isso, tem-se um software robusto e cujas performances, podem ser de grande ajuda para os profissionais do segmento solar, direcionando suas aplicabilidades, de acordo com cada necessidade e ações específicas. Em grande maioria, os profissionais de engenharia e de pesquisas, são quem mais utilizam esse programa.

Ciente dos dados referentes à instalação, é necessário que o projetista tenha conhecimento dos dados meteorológicos referentes à residência, e, para isso, o *Pvsyst* R é uma prática e eficiente ferramenta. Primeiramente, insere-se as coordenadas da casa no software, e este, por sua vez, apresentará dados como irradiação global e difusa, temperatura e velocidade do vento, os quais são determinantes para a geração de energia dos módulos. Pode-se analisar, portanto, os dados acerca da irradiância em função do tempo [...] (SANTOS, et al., 2018, p. 03).

Ao que concerne a esse programa, pode-se analisar estatísticas ligadas ao tempo, bem como os quesitos financeiros, algo que tende a ser preponderante em projetos como os fotovoltaicos. As eficiências desse sistema, permite inferir também sobre outros requisitos, o que o torna bastante eficiente e utilizado.

2.8.2 SketchUp

Sketchup, um programa que tem muitas funcionalidades, tais quais insere-se nas áreas da arquitetura e engenharia, onde torna-se crucial pelos seus desempenhos e aplicações, mais precisamente nos projetos, desde os passos iniciais de serem elaborados até suas definitivas apresentações. Com isso, vem sendo implementado e modernizado a cada versão.

Nos segmentos que precisam de maiores detalhes em suas apresentações de produtos, desde equipamentos a imóveis, o *Sketchup* recebe bastante notoriedade, pois cumpre com êxito suas funções, agradando a muitos profissionais. É possível detalhar minuciosamente cada detalhe de um desenho ou projeto, como visto na figura 13, tornando-o requerido em vários âmbitos e segmentos também.

Figura 13 – Desenho com Sketchup



Fonte: TOTALCAD, 2017

De acordo com Razor (2019), O *SketchUp* é programa que foi idealizado em meados do ano de 2000, data de seu surgimento no mercado, sendo um software voltado para muitos tipos de desenhos que são assistidos por computador (CAD), possui uma ampla capacidade em criar diversos ambientes e objetos em 3D. Em se tratando de elaborar e demonstrar maquetes de imóveis, por exemplo, ele sai na frente de muitas outras aplicações tecnológicas, favorecendo o em crescimento de mercado e preferências.

Quando os desenhos possuem determinadas finalidades, é preciso recurso modernos e habilidades de quem possa exercer essas funções, com o *SketchUp*, pode-se obter isso com a máxima perfeição. as dimensões em *layout*, escala, redefinições e demais atributos nesses âmbitos, podem ser alcançados de uma maneira aquém do esperado, algo que reflete, por exemplo, ao lidar com demonstrações de ilustrações com projetos de painéis fotovoltaicos.

Nesses aspectos tão específicos, trabalhar com programas dessa magnitude, trazem os aperfeiçoamentos que são necessários, dos quais abrilhantam todas as fases do projeto, mostrando a clientela as possibilidades positivas de investir.

2.9 Bases Meteorológicas

As incertezas da produção de energia de um sistema fotovoltaico estão muito ligadas aos dados de irradiação, o que afeta diretamente os resultados financeiros da planta. Portanto, é imprescindível selecionar o melhor banco de dados para se trabalhar com e que se adeque a região de instalação.

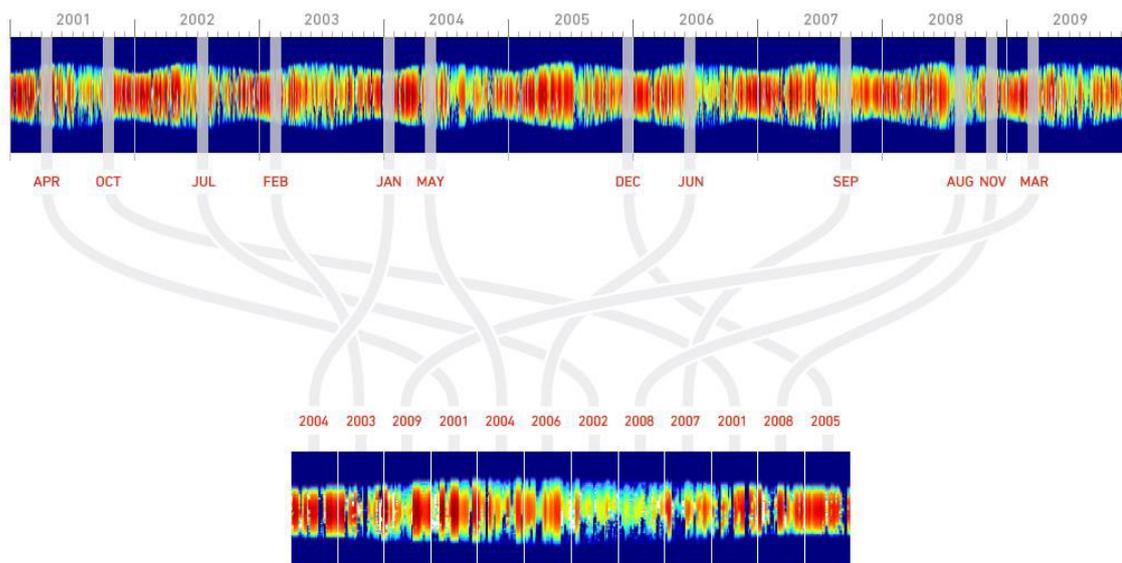
A maioria dos bancos de dados fornecem os valores de IGH (Irradiação Global Horizontal) obtida por uma coleta de dados de satélites que orbitam a Terra e cobrindo boa parte do globo, utilizando equipamentos de precisão e sensibilidades diferentes. O valor de IGH é usado para determinar a energia que atinge a superfície dos módulos solares, utilizando algoritmos de transposição para explicar os desvios de azimute e inclinação (Bird and Riordan, 1985-Notton et al., 2012). Entretanto, os dados oriundos dos satélites devem ser validados por dados obtidos também nas estações terrestres e assim obtido um valor médio em comum.

Todas as bases de dados que foram utilizadas trabalham do mesmo modo, onde variam de acordo com os números de estações meteorológicas que trabalham ou da precisão dos equipamentos utilizados, por isso há bastante variação nelas.

Em todas as bases de dados estudadas, é feito um TMY (*Typical Meteorological Year Data*) para realizar as simulações. Para determinar os dados TMY, várias medições meteorológicas são feitas em intervalos de uma hora ao longo de vários anos para construir uma imagem do clima local. Uma média simples dos dados anuais não condiz com a quantidade de variabilidade, então o mês que é mais representativo do local é selecionado. (ARGIRIOU et al., 1999).

Para cada mês, é determinada a radiação média durante todo o período de medição, juntamente com a radiação média em cada mês durante o período de medição. Os dados para o mês que tem a radiação média mais próxima da média mensal durante todo o período de medição são então escolhidos como os dados TMY para aquele mês. Este processo é então repetido para cada mês do ano. Os meses são somados para dar um ano inteiro de amostras horárias. (LHENDUP; LHUNDUP, 2007). Após ter uma base de dados consolidada por vários anos, é feito um ano sintético com meses de diferentes anos para consolidar os valores e suas incertezas, como mostrado na figura 14:

Figura 14 – Exemplo de formação de um TMY.



Fonte: Solargis©, 2022.

3 METODOLOGIA

Com relação a metodologia de pesquisa, o tipo de pesquisa para o projeto foi uma pesquisa descritiva, com fontes primárias e secundárias, tratando os resultados de maneira tanto qualitativa como descritiva. A revisão bibliográfica foi baseada em trabalhos de monografias, teses e sites ligados à área. Já a parte de modelagem e simulação foi feita diretamente do software escolhido em questão em comparação a uma usina fotovoltaica já instalada cujo proprietário autorizou o uso dos dados para a realização deste trabalho. Todas as fotos e amostragens do sistema são reais e foram captadas *in loco*. Após receber o resultado do sistema real e realizar a simulação no software foi feita a comparação de dados entre o que foi realmente gerado no local e o que o *software* de simulação acusou como geração, sendo esses dados utilizados para a discussão da importância dos *softwares*, sua confiabilidade no resultado adquirido, dentre outras conclusões que serão possíveis de serem inferidas a partir dessas informações. Outra discussão levantada também está relacionada às bases de dados utilizadas para realização de simulações do sistema. Foram comparados os principais bancos de dados tanto nacionais quanto internacionais a fim de discernir as variações entre eles e qual seria o que possui um valor com menor desvio com relação a geração.

Para a realização do estudo, foi utilizado o projeto executivo de usina em questão, onde dados como: estrutura, paginação, *layout*, divisão de *strings*, local do inversor e ponto de conexão foram coletados. A partir disso foi necessário modelar toda a usina no *software* de criação de modelos em 3D *Sketchup*, respeitando veementemente os parâmetros do projeto, de modo que a simulação seja a mais fidedigna possível com o SFV.

Após o modelo em 3D da usina concluído, a próxima fase foi a modelagem no *Pvsyst® Photovoltaic Software*, que a partir de vários dados de entrada fornecidos pelo usuário, realizam a simulação da usina com todos os detalhes técnicos e perspectivas de geração.

Portanto, o trabalho é dividido em três etapas principais:

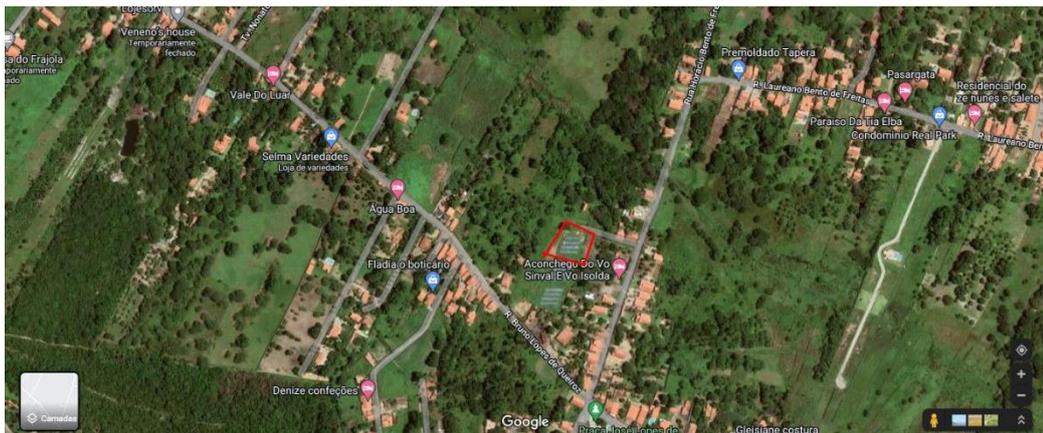
- 1) Desenho do sistema: com o software de desenho em 3D, desenhar toda a usina em questão, georreferenciando a SFV. Para esse passo, foram utilizadas fotos aéreas de drone que ratificaram a semelhança entre o sistema real com o assistido pelo software;
- 2) Modelagem: neste ponto, consiste no levantamento de dados, estudos e publicações de sistema instalados, avaliando as perdas no sistema fotovoltaico, principalmente relacionados a perdas térmicas e sujidade, valores estes de suma importância para a simulação do sistema;

- 3) Simulação: com a integração do desenho 3D ao software de simulação, junto de todas as outras informações de entrada coletadas, é possível gerar as curvas de geração e desempenho do sistema e compará-las com as curvas reais obtidas pelo monitoramento existente no local. Com isso, será possível realizar uma análise comparativa por meio de gráficos e tabelas visando externar os erros de simulação, suas causas possíveis e aspectos que podem melhorar a sua acuracidade.

3.1 Visão Geral do Sistema

O SFV Tapera está localizado nas coordenadas 571689.48 m E, 9564234.98 m S, próximo ao Rio Catu, zona rural do município de Aquiraz, estado do Ceará e está em um terreno de meio hectare, que se distribuem em 3 usinas idênticas, sendo a estudada a primeira em mais próxima a rua, conforme mostra as Figura 15 e 16.

Figura 15 – Local da usina.



Fonte: Google Maps, 2022.

Figura 16 – Sistema Fotovoltaico Tapera.



Fonte: O autor, 2022

O sistema foi instalado no local em 2019 segundo as normas regulamentadoras de geração distribuída e da concessionária a qual está diretamente ligada (ENEL CE).

O sistema possui 75,9kWp de potência de painéis, constituído por um inversor de 60kW de capacidade instalada. São, 220 módulos de 345Wp de potência cada, distribuídos em perfis metálicos fixados em estacas de concreto armado no chão. Esses módulos são então dispostos em 2 mesas com 54 módulos e 2 mesas com 56 módulos, com 3 *strings* em cada mesa.

A estrutura de fixação é feita com estacas de concreto 10x10cm enterradas a 80cm do chão, com níveis de concreto, areia e pedras, para sua fixação. Foram realizados testes de resistências atendendo a normativa brasileira NBR 6123 (que trata da força de ventos no Brasil).

A parte elétrica é ponto chave no sistema e pode ser destrinchada de acordo com o fluxo de energia produzido, que se inicia nos módulos até o lançamento da energia gerada na rede:

- i. Saindo dos módulos, as *strings* são conectadas com cabos estanhados flexível com encordoamento classe 5 1,0kV DC 6mm², com isolamento XLPO, mais conhecidos como cabos solares;
- ii. Os condutores de saída do inversor vão para o QDCA – Quadro de Distribuição de Corrente Alternada, que contém um disjuntor de caixa moldada 100A ligados a 4 Dispositivos de Proteção contra Surtos de Corrente Alternada (DPSCA), sendo 1 para cada fase e 1 para o neutro. Os condutores são cabos para corrente alternada com isolamento com composto termoplástico base de policloreto de vinila (PVC). Características de não propagação de chama conforme NBRNM-IEC 60332-1 (ensaio de bico de Bunsen) com cabos de 50mm² para as fases e 25mm² para neutro e terra. Esses cabos chegam então até o padrão de entrada da concessionária e com a utilização do medidor bidirecional é possível rastrear toda a energia gerada pela usina

3.1.1 Especificação dos módulos

Os módulos instalados são de silício policristalinos da fabricante chinesa Trina Solar Co., Ltd, do modelo TSM-PE15H 345W, cujos dados principais estão condensados na tabela 5.

Tabela 5 – Módulo Trina Solar - TSM-PE15H 345W.

Modelo	TSM-PE15H 345W
Potência Pico	345 Wp
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9.15 A

Tensão Circuito Aberto (Voc)	46.4 V
Dimensões L * W * H	2015 x 996 x 35 mm
Eficiência do módulo	17,2 %

Fonte: O autor, 2022

3.1.2 Especificação do inversor

O inversor instalado é um conversor CC-CA trifásicos da fabricante chinesa *Huawei Technologies Co. Ltd*, do modelo SUN2000-60KTL-M0 cujos dados estão sintetizados na tabela 6.

Tabela 6 – Inversor Huawei - SUN2000-60KTL-M0.

Modelo	SUN2000-60KTL-M0
Potência Nominal	60 kW
Máxima Corrente de Entrada (CC)	22 A
Faixa de Tensão na Entrada	200 V ~ 1.000 V
Máxima Corrente de Saída (CA)	100 A
Tensão na Saída	220 V (F-N) / 380 V (F-F)
Frequência	50/60Hz
Dimensões L * W * H	1.075 x 555 x 300 mm

Fonte: O autor, 2022

3.1.3 Dimensionamento do Sistema

Essa segmentação se refere aos dados básicos da usina, partindo do detalhamento das *strings* e sua distribuição nos MPPT's até os parâmetros do inversor Tabela 7.

Tabela 7 – Dados do Circuito do SFV Tapera.

	MPPT01. a. MPPT03-FASE CC
Número de <i>strings</i> por MPPT x Número de módulos por <i>string</i>	2 strings x 18 módulos
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9.62 A
Tensão Circuito Aberto (Voc)	835.2 V
Bitola do Condutor	6 mm ²
Resistência do Condutor x Percurso	66.6 [mΩ] x 80 [m]

Observação	Serão 8 strings ao total, totalizando 16 condutores CC
	MPPT04. a. MPPT06-FASE CC
Número de Strings por MPPT x Número de Módulos por String	2 strings x 19 módulos
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9.62 A
Tensão Circuito Aberto (Voc)	881.6 V
Bitola do Condutor	6 mm ²
Resistência do Condutor x Percurso	66.6 [mΩ] x 80 [m]
Observação	Serão 4 strings ao total, totalizando 8 condutores CC
	INVERSOR01-FASE CA
Tensão de Saída	380 V
Frequência de rede CA nominal	100 A
Bitola do Condutor	50 mm ²
Observação	01 Condutor CA por Fase

Fonte: O autor, 2022

3.1.4 Modelagem do Sistema

Neste tópico é abordado o cálculo e escolha dos diferentes parâmetros de entrada necessários para a simulação nos *softwares*. A maior parte dos parâmetros são fixos e não sofreram alterações durante as variantes da simulação. Neste escopo pode-se incluir: orientação, quantidade e disposição dos módulos nas mesas, distribuição das *strings*, indisponibilidade do sistema (para realização de manutenções programadas), perdas ópticas, degradação dos módulos, percentual de sujidade.

É feito também o desenho em 3D, demonstrado na figura 17, do local de instalação para que seja simulado com todos os possíveis focos de sombreamento, como por exemplo, árvores, postes e até a própria cerca do terreno. Com isso, é possível exportar o resultado para o software *Pvsyst®* onde a simulação é efetivamente feita.

Figura 17 – Esquema 3D da UFV Tapera



Fonte: O autor, 2022

Foi considerado um consumo de 1W para o funcionamento do equipamento de monitoração remoto *Datalogger SolarView* – Modelo AWC01.

O local de medição se encontra antes do transformador externo fornecido pela ENEL, por tanto todas as perdas oriundas do cobre e ferro do transformador foram desconsideradas dos cálculos.

3.2 Parâmetros fixos

Para os parâmetros fixos, foram utilizados recursos do próprio software de simulação *PVSYST* para realizar os cálculos das perdas a seguir.

3.2.1 Perdas Térmicas

Sem dados confiáveis, o próprio software propôs alguns valores padrões que dependem do tipo de estrutura utilizada para fixação dos módulos sem a influência da velocidade do vento, sendo que, para casos de sistemas com fixação em solo com livre circulação de ar ao redor dos módulos, como o apresentado neste trabalho, o valor sugerido para U_c e U_v são após várias medições feitas em instalações

$$U_c = 29 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$$

$$U_v = 0 \text{ W/m}^2\cdot\text{k} / \text{m/s}$$

3.2.2 Perdas Ôhmicas ou Resistência elétrica

Nas perdas Ôhmicas na parte CC foi realizado o cálculo considerando a maior distância percorrida por um cabo solar até o inversor e sua bitola, chegando ao valor de 0,33% de perda em STC (*Standart Test Conditions*), ou, Condições Padrão de Teste.

Nas perdas Ôhmicas na parte CA foi realizado o cálculo considerando distância percorrida do inversor até o ponto de conexão e sua bitola, chegando ao valor de 0,73% de perda em STC.

3.2.3 Perdas por LID

Quanto às perdas por qualidade dos módulos e LID, em todas as simulações foram utilizados os valores padrões estipulados pelo software, sendo que para as perdas por qualidade dos módulos foi utilizado -0.8%, pois a tolerância dos parâmetros para os módulos informada pelo fabricante é de + 5W, ou seja, dentro do Pallet que os módulos virão, poderá haver uma variação de mais 1,45% para cima. Para as perdas por LID foi utilizado o valor de 2% para módulos de silício com uma degradação anual de 0.2% ao ano (garantido pelo fabricante).

3.2.4 Perdas por descascamento (*mismatch*)

Para as perdas por *mismatch* foram calculadas através de uma ferramenta de cálculo do *Pvsyst*® que utiliza distribuição Gaussiana para uma irradiância de 1000 W/m² e temperatura de célula de 50 °C, sendo obtido para 2840 interações randômicas e 28 cenários avaliados gerando uma variação de 1,8% a 2,5%.

3.2.5 Perdas por IAM

Progredindo, para as perdas por *IAM* (*Incidence Angle Modifier*) foi adotado o modelo chamado de “ASHRAE” com parametrização $bo = 0,05$ (configurações padrão do software).

3.2.6 Perdas por Indisponibilidade

Para as perdas ocasionadas pelo desligamento do sistema ao longo do ano para a realização de limpeza e manutenções foi estipulado 2% ao ano, ou 7.3 dias/ano distribuídos aleatoriamente durante a simulação.

3.2.7 Perdas por envelhecimento

Para o funcionamento do sistema (utilizado para comparação nos resultados), temos 3,15%, onde os 2% são referentes ao LID inicial de perda do primeiro ano acrescido dos dois anos de perda no valor de 0,57% ao ano, por envelhecimento.

3.2.8 Perdas por sujidade

Para fins do estudo, foi considerada essa proposta de participação da sujidade na simulação de 7% médio anual.

A Tabela 8 traz os parâmetros fixos na simulação.

Tabela 8 – Parâmetros Fixos do sistema e da simulação.

Orientação	
Tipo de Estrutura	2 x 18 módulos
Inclinação dos módulos	10°
Azimute	0°
Sistema	
Módulos	220
Inversores	1
Número de Strings	12
Fator de Dimensionamento do Inversor	26,50%
Número de Strings por MPPT x Número de Módulos por String	2 x 19 módulos
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9.62 A
Tensão Circuito Aberto (Voc)	881.6 V
Bitola do Condutor	6 mm ²
Resistência do Condutor x Percurso	66.6 [mΩ] x 80 [m]
Observação	Serão 4 strings ao total, totalizando 8 condutores CC
Número de Strings por MPPT x Número de Módulos por String	2 x 18 módulos
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9.62 A
Tensão Circuito Aberto (Voc)	881.6 V
Bitola do Condutor	6 mm ²
Resistência do Condutor x Percurso	66.6 [mΩ] x 80 [m]
Observação	Serão 4 strings ao total, totalizando 8 condutores CC
Perdas Detalhadas	
Thermal Loss Factor	29 W/m ² K
Resistência CC	31,3mΩ
Queda de Tensão por uma série de diodo de silício	0.7V/módulo

Queda de tensão CA	2.8V (0,69%)
Transformador externo	Não utilizado
Perda de eficiência dos módulos	-0.8%
Fator de Perda LID	2.0%
Perda de Potência MPP	2.9%/3.0%
Mismatch nas Strings	0.1%
Parametrização	ASHRAE
Coefficiente de Parametrização (Bo)	0.5
Perda por envelhecimento	3,15%
Fração de tempo	2%
Duração	7.3 dias/ano

Fonte: O autor, 2022.

3.3 Parâmetros Variáveis

Como principal parâmetro variável do trabalho, os dados solarimétricos são retirados de diferentes bases de dados. Deles é possível retirar os principais apontamentos para a realização de um estudo de geração da usina, principalmente a Irradiação Global Média, dada em kWh/m², que é a variável base de todos os cálculos de geração de uma usina.

3.3.1 Variação em função das Bases Meteorológicas

Para a conclusão dos estudos de geração da usina, é de suma importância todas as informações climáticas do local. Dessa forma, o objetivo do trabalho é de descobrir também qual base de dados sobre irradiância solar e temperatura está mais coerente para os resultados da geração.

Para o banco de dados, foram utilizados 8 bancos de dados diferentes explicitados na tabela 9. Após isso, foram aplicados na simulação para verificar a geração de energia e comparar com os resultados reais da usina.

Portanto, serão feitas oito variantes de simulação, como descrito abaixo na tabela 9:

Tabela 9 – Parâmetros para as variáveis de simulação.

Variante da simulação	Base de dados
V00	Meteonorm
V01	Nasa
V02	PVGIS
V03	NREL
V04	Solcast TMY
V05	Atlas Solar do Ceará
V06	Openei Swera
V07	CRESESB

Fonte: O autor, 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão comparados os resultados atingidos nas simulações utilizando o *Pvsyst*®, a fim de checar se há uma confiabilidade nos dados obtidos.

Para efeitos de comparação, é importante ter sapiência dos valores a serem comparados. Foi utilizado como parâmetro a média dos valores mensais dos anos de 2020 e 2021 completos como fonte de confrontar as simulações realizadas. Assim, foram comparados os diferentes dados solarimétricos com os valores reais obtidos a fim de relacionar os fatores com os resultados obtidos.

A Tabela 10 abaixo informa os valores medidos pela medição do *datalogger* instalado no local.

Tabela 10 – Dados de medição de geração do *datalogger* Solarview.

Medição	Energia produzida (2020)	Energia produzida (2021)	Média Energia produzida (kWh)
Jan	8890,60	9697,78	9294,19
Fev	7420,30	9196,90	8308,60
Mar	8636,40	9186,30	8911,35
Abr	9840,30	10767,90	10304,10
Mai	9432,80	10130,90	9781,85
Jun	10664,77	9438,70	10051,74
Jul	10924,93	11496,70	11210,82
Ago	11054,19	12495,00	11774,60
Set	11538,64	11344,50	11441,57
Out	11535,24	11615,70	11575,47
Nov	10387,32	10837,20	10612,26
Dez	10188,82	9847,60	10018,21

Fonte: O autor, 2022

4.1. Comparação das Bases Solarimétricas

De posse de todos os dados meteorológicos, foi comparado o de maior relevância para o impacto da geração do local, a Irradiação Global Horizontal. A tabela abaixo foi descrita para que seja notório que, para o mesmo local, há diferenças muito altas entre os valores obtidos,

justificando mais uma vez a boa escolha da base de dados antes de realizar qualquer empreendimento solar em alguma região.

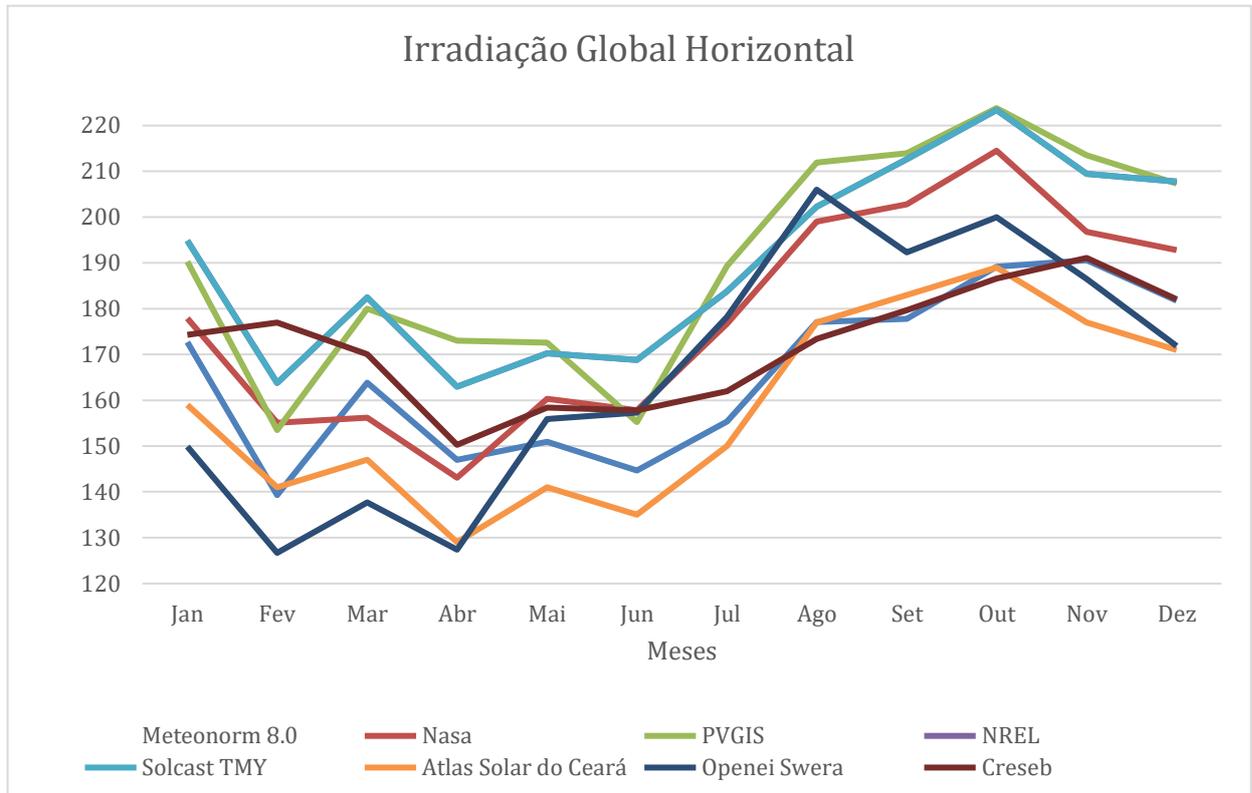
Tabela 11 – Valores de irradiação Global Horizontal

Mês	Irradiação Global Horizontal (kWh/m ² /mês)							
	Meteonorm 8.0	Nasa	PVGIS	NREL	Solcast TMY	Atlas SOLAR	Openei Swera	Creseb
Jan	172,7	177,9	190,3	194,9	157,5	159,0	149,9	174,3
Fev	139,3	155,1	153,5	163,8	157,8	141,0	126,7	177,0
Mar	163,9	156,2	180,0	182,5	147	147,0	137,7	170,1
Abr	147,0	143,1	173,0	163,0	151,5	129,0	127,4	150,3
Mai	151,0	160,3	172,6	170,3	152,1	141,0	155,9	158,4
Jun	144,7	157,8	155,2	168,8	153,6	135,0	157,3	157,8
Jul	155,4	176,7	189,3	183,8	162,9	150,0	178,2	162,0
Ago	177,1	199,0	211,9	202,3	183,9	177,0	206,0	173,4
Set	177,8	202,8	213,9	212,7	195,9	183,0	192,3	179,7
Out	189,2	214,5	223,8	223,4	192,3	189,0	200,0	186,6
Nov	190,6	196,8	213,5	209,5	188,4	177,0	186,5	191,1
Dez	181,8	192,8	207,3	207,8	172,8	171,0	171,9	182,1
Ano	165,9	177,8	190,4	190,2	167,9	158,3	165,8	171,9

Fonte: O autor, 2022.

Os valores divergem bastante pois a maneira como os dados são tratados variam bastante entre eles. É possível ver que as médias anuais variam de 158,3 kWh/m²/mês até 190,4 kWh/m²/mês, uma variação de 32,1 kWh/m²/mês. Para efeito de comparação entre a base de dados com maior valor e a menor, utilizando o nosso módulo fotovoltaico presente no trabalho (TSM-PE15H 345W) que possui 2,006m² de área útil, teria uma diferença de produção teórica (desconsiderando outros fatores que possam onerar o valor de energia gerada, de cerca de 64,3926 kWh/mês. Esse é um valor bastante elevado a ser considerado ao realizar uma simulação financeira de uma usina. Esse seria o resultado para um módulo, produto esse que poderia ser escalonado poderia causar uma incompreensão após instalação entre valores esperados e valores alcançados, prejudicando toda a parte financeira do projeto.

Logo abaixo, segue um gráfico que facilita a comparação entre as bases de dados. Todos os dados de irradiação e local de extração estão anexados ao final do trabalho.

Gráfico 1 - Comparação de Irradiação Global Horizontal (kWh/m²/mês)

Fonte: O autor, 2022.

4.2. Comparação da geração Elétrica

Para atingir os resultados, devemos comparar os valores obtidos pelas simulações do *software*. A Tabela 12 mostra uma comparação entre a medição (geração medida), e as simulações. Foram colocados os resultados das simulações (que se encontram ao final do trabalho) em comparação com o valor gerado mês a mês e logo ao lado a porcentagem de diferença entre esses valores, tornando assim mais fácil interpretar a tabela gerada e, logo abaixo, segue também um gráfico resumido da tabela apenas com os valores anuais:

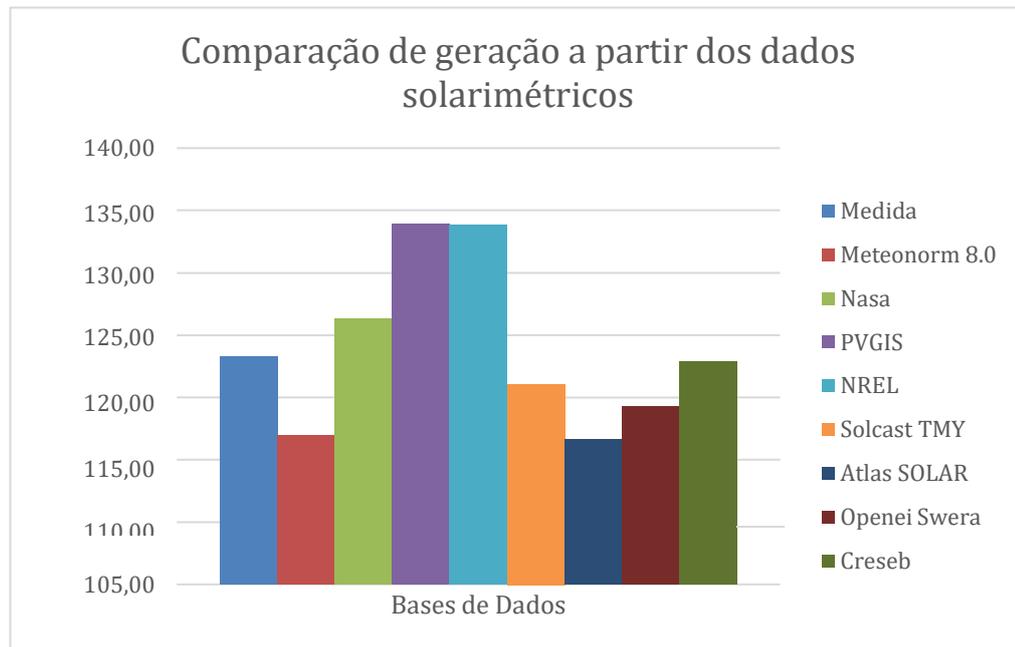
Tabela 12 – Comparação de geração variando as bases de dados.

Mês	Medido	Meteonorm 8.0		NASA		PVGIS		NREL	
	Geração (MWh)	Geração (MWh)	% de erro	Geração (MWh)	% de erro	Geração	% de erro	Geração	% de erro
Jan	9,29	8,85	4,83%	9,52	-2,38%	9,91	-6,59%	9,85	-5,98%
Fev	8,31	8,03	3,31%	8,96	-7,80%	8,83	-6,30%	9,40	-13,08%
Mar	8,91	9,75	-9,37%	9,36	-5,02%	10,67	-19,70%	10,89	-22,20%
Abr	10,30	9,06	12,09%	8,88	13,79%	10,75	-4,32%	10,11	1,91%
Mai	9,78	9,58	2,07%	10,36	-5,95%	11,04	-12,86%	10,94	-11,85%
Jun	10,05	8,72	13,30%	9,68	3,73%	9,28	7,65%	10,19	-1,40%
Jul	11,21	9,98	11,02%	11,57	-3,23%	12,26	-9,32%	11,97	-6,80%
Ago	11,77	11,14	5,42%	12,59	-6,93%	13,30	-12,95%	12,74	-8,22%
Set	11,44	10,12	11,56%	11,33	1,00%	11,81	-3,20%	11,84	-3,45%
Out	11,58	11,02	4,80%	12,46	-7,61%	12,87	-11,14%	12,87	-11,18%
Nov	10,61	10,69	-0,74%	11,01	-3,74%	11,82	-11,42%	11,65	-9,79%
Dez	10,02	10,00	0,16%	10,60	-5,80%	11,34	-13,18%	11,37	-13,51%
Total	123,28	116,92	5,16%	126,31	-2,45%	133,87	-8,59%	133,82	-8,55%

Mês	Medido	Solcast TMY		Atlas SOLAR		Openei Swera		Creseb	
	Geração (MWh)	Geração (MWh)	% de erro	Geração	% de erro	Geração	% de erro	Geração	% de erro
Jan	9,29	8,41	9,56%	8,85	4,80%	7,66	17,54%	9,08	2,26%
Fev	8,31	8,56	-3,06%	8,01	3,58%	6,82	17,90%	9,51	-14,50%
Mar	8,91	9,19	-3,12%	9,73	-9,14%	8,51	4,54%	10,53	-18,19%
Abr	10,30	9,49	7,89%	9,04	12,23%	7,83	24,03%	9,30	9,78%
Mai	9,78	10,18	-4,06%	9,56	2,30%	10,39	-6,19%	10,49	-7,26%
Jun	10,05	9,32	7,24%	8,35	16,93%	9,43	6,21%	9,53	5,21%
Jul	11,21	10,98	2,04%	10,00	10,76%	11,97	-6,80%	10,87	3,04%
Ago	11,77	12,02	-2,06%	11,15	5,35%	13,42	-13,99%	11,40	3,22%
Set	11,44	10,95	4,28%	10,25	10,45%	11,06	3,37%	9,90	13,44%
Out	11,58	11,51	0,55%	10,99	5,04%	11,98	-3,52%	11,19	3,30%
Nov	10,61	10,54	0,66%	10,66	-0,43%	10,44	1,67%	10,70	-0,78%
Dez	10,02	9,92	0,97%	10,03	-0,11%	9,79	2,32%	10,34	-3,24%
Total	123,28	121,08	1,79%	116,61	5,41%	119,29	3,24%	122,85	0,36%

Fonte: O autor, 2022

Gráfico 2 - Comparação de geração por dados solarimétricos.



Fonte: O autor, 2022

É notório a grande diferença de geração que ocorre por conta da mudança da base de dados e a importância de escolher a base de dados certa para realizar as suas simulações. Para o resultado anual houve uma variação de 5,41% abaixo da geração anual, com a base de dados do Atlas Solar do Ceará, e de 8,59% acima da geração anual, com a base de dados do PVGIS. Já a base de dados com maior acurácia foi a do Creseb.

Essa diferença ocorre por vários fatores que se diluem nos resultados. Um exemplo seria a base de dados do PVGIS, que foi a mais destoante da geração.

A base de dados do PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) está disponível apenas até 2016 (DE VRIES et al., 2020). Sem o fornecimento de dados recentes, os desenvolvedores não são capazes de fazer comparações individuais com observações de solo para entender melhor a precisão dos dados. Além disso, não é possível melhorar a precisão de uma estimativa de longo prazo para os desvios entre dados modelados e observações terrestres de alta qualidade ou usando atualizações regulares de dados recentes para monitorar o desempenho operacional de usinas fotovoltaicas.

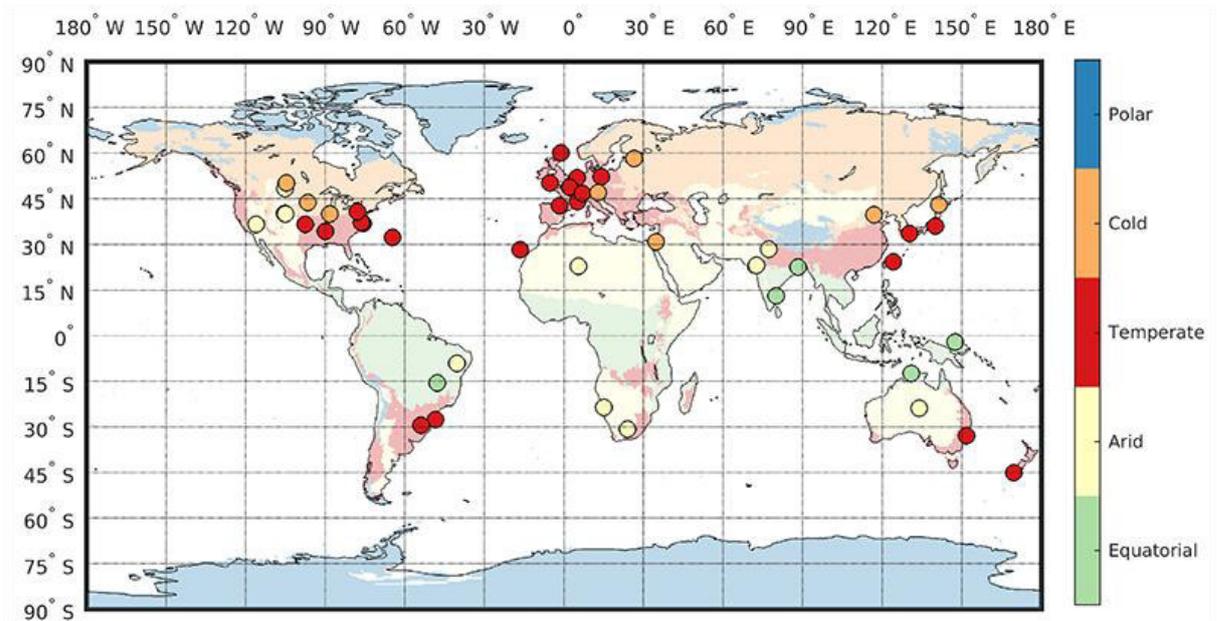
Outro exemplo a ser citado seria a base de dados *Meteonorm*. Uma das bases de dados mais famosas do mundo e usada globalmente como alternativa para estudos fotovoltaicos, é focada para os usuários europeus, americanos e canadenses. Os dados de recursos solares mais granulares usados pela *Meteonorm* a partir de ~1300 estações meteorológicas são médias

mensais, usando-os para gerar valores estatisticamente por hora (LACCHINI; ANTONIOLLI; RÜTHER, 2017). Esta geração sintética de um conjunto de dados típico do ano resulta na perda da coerência entre a irradiação solar e a temperatura do ar. À medida que o desempenho dos sistemas de energia solar varia com a irradiação solar e a temperatura do ar, o uso de conjunto de dados sintético por hora aumenta a incerteza das simulações de energia solar. Em qualquer outro lugar do mundo, os valores são gerados por interpolação, gerando uma imprecisão nos valores gerados (Pvsyst, 2012, 2016).

Sobre as duas bases de dados que chegaram mais próximas da geração real, *SolcastTMY* e CRESEB, podemos indicar dois argumentos que favoreceram a chegar ao resultado mais preciso: análise de dados e um alto número de sensores terrestres, respectivamente.

A metodologia exata utilizada pelo *Solcast* é comercialmente sensível, pois antes de tudo é uma empresa privada, portanto pode-se ter acesso apenas a alguns principais recursos utilizados. A metodologia *Solcast* é semiempírica e derivada de satélite. Ele usa cálculos de transferência radiativa considerando a composição atmosférica espaço-temporal para estabelecer o potencial de irradiância solar de superfície sob céu claro. Então, as imagens de satélite fornecem a base para a presença e a espessura das nuvens, resultando em uma estimativa terrestre de irradiância (ERNST; GOODAY, 2019). Devido à dependência de imagens de satélite, a resolução da disponibilidade de dados é alinhada ao tempo de varredura da imagem de satélite (Bright, Jamie. (2019). Após a obtenção dos dados eles são validados usando medições terrestres superficiais uniformes, de alta qualidade, bem conservados e de longo período. A *Baseline Surface Radiation Network* (BSRN) foi selecionada para garantir a consistência das especificações do sensor e a calibração de medição e abordagem de controle de qualidade. A rede BSRN foi criada especificamente para fornecer dados observacionais de alta qualidade para a comunidade científica, tornando-a ideal para validar estimativas de radiação solar baseadas em satélite localizadas em 48 lugares ao redor do mundo (© Alfred-Wegener-Institute 2019), conforme visto na figura 18:

Figura 18 – Locais de bases de dados da BSRN para validação dos dados



Fonte: Solcast, 2022.

Sobre o CRESEB (Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito), que atingiu o valor mais preciso referente a simulação com um erro percentual de 0,36%, pode-se dizer que seu diferencial está nos sensores terrestres localizados em todo o território do brasileiro, com aproximadamente mais de 72.000 pontos com distâncias de aproximadamente 10km entre eles. (CRESESB, 2014). Esses dados terrestres validam os dados retirados de fornecidas pelo modelo computacional BRASIL-SR baseadas em 17 anos de imagens de satélite (1999 a 2015). Essas estimativas foram validadas por dados coletados em estações solarimétricas da rede SONDA, de estações privadas e de estações meteorológicas automáticas operadas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), totalizando 503 estações de superfície com qualidade adequada para participar do processo de validação (CCST/LABREN/INPE, 2017).

Essa especificidade para o território brasileiro possibilitou uma alta precisão nos dados obtidos para a simulação realizada na região metropolitana de Fortaleza.

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi realizado um estudo acerca da simulação de desempenho de um sistema fotovoltaico de 75.9kWp, localizado nas coordenadas 571689.48 m E, 9564234.98 m S, na cidade Aquiraz, que participa da Região Metropolitana de Fortaleza, utilizando o *software Pvsyst*® para a simulação de desempenho da usina e o *Sketchup* para a modelagem 3D do sistema. Após a inclusão dos parâmetros fixos, foi introduzido como parâmetro variável a base de dados utilizada, sendo explicitadas 8 bases de dados diferentes retiradas de seus respectivos *sites* ou da própria plataforma do *PVsyst*. Por fim, foram realizadas 8 simulações diferentes apenas pela sua base de dados e comparadas com o valor de geração obtido pelo monitoramento que se encontra no empreendimento.

O trabalho conseguiu atingir os objetivos iniciais propostos na introdução ao averiguar os dados simulados com a geração de uma usina em funcionamento e testar as variações no resultado ao manipular diferentes bases de dados como principal variável.

Com isso, chegou-se à conclusão de que os resultados obtidos nas simulações variaram entre -5,41% até 8,59% do valor de produção da usina, com a base de dados mais próxima do valor correto sendo a base de dados CRESESB, com valor relativo de 0,36% ao valor, sendo um valor bastante confiável para futuras simulações e estudos de viabilidade econômica no estado do Ceará e que o estudo desta monografia foram respondidos e encontrados de forma satisfatória.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Alguns estudos complementares podem ser realizados para agregar conhecimento e implementação de bases de dados em sistemas FV. Este mesmo estudo pode ser realizado a partir de um comparativo com usinas que possuem sensores meteorológicos in loco para rastreamento preciso do local e realizar esse comparativo com bases de dados consolidadas mundialmente.

7 REFERÊNCIAS

ALFA ENGENHARIA. Energia solar fotovoltaica. Publicação realizada em 2022. Disponível em: < <https://alfaengenharia.net.br/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 26 de março de 2022. Fig. 11 e 12.

ALÍPIO, Rafael Silva et al. Modelagem de aterramentos elétricos para fenômenos de alta frequência e comparação com resultados experimentais. Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica, v. 22, n. 1, p. 89-102, 2011.

ARGIROU, A. et al. Comparison of methodologies for tmy generation using 20 years data for Athens, Greece. Solar Energy, v. 66, n. 1, p. 33–45, 1 maio 1999.

ARGIROU, A. et al. Comparison of methodologies for tmy generation using 20 years data for Athens, Greece. Solar Energy, v. 66, n. 1, p. 33–45, 1 maio 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT/CB-003 2º PROJETO ABNT NBR 16690 JUL 2019. Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto. Disponível em: < <https://www.solarize.com.br/downloads/manual-energia-solar/NBR-16690-2019-consulta-publica.pdf>>. Acesso em: 28 de março de 2022.

BANDEIRA, Cleidson Malta et al. Estimativa de radiação solar global por um painel fotovoltaico de silício policristalino. 2019.

BORTOLOTO, Valter A. et al. Geração de Energia Solar On Grid e Off Grid. In: VI JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica. 2017.

BRIGHT, Jamie. (2019). Solcast: Validation of a satellite-derived solar irradiance dataset. Solar Energy. 189. 435-449. 10.1016/j.solener.2019.07.086.

BRUSCHI, Diogo L. et al. Desenvolvimento de células solares em silício tipo n com emissor formado por Boro. Matéria (Rio de Janeiro), v. 16, p. 776-787, 2011.

CÂMARA, Carlos Fernando. Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, 2011.

CANAL SOLAR. Entendendo as curvas IV e PV dos módulos fotovoltaicos. Publicação realizada em 10 de março de 2019. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 28 de março de 2022. Fig. 17.

ELITRICANPOS. O que é um painel solar? Publicação realizada em 04 de dezembro de 2020. Disponível em: < <https://www.eletricampos.com.br/post/o-que-%C3%A9-painel-solar>>. Acesso em: 24 de março de 2022. Fig. 04 e 05.

ERNST, M.; GOODAY, J. Methodology for generating high time resolution typical meteorological year data for accurate photovoltaic energy yield modelling. *Solar Energy*, v. 189, p. 299–306, 1 set. 2019.

ERNST, M.; GOODAY, J. Methodology for generating high time resolution typical meteorological year data for accurate photovoltaic energy yield modelling. *Solar Energy*, v. 189, p. 299–306, 1 set. 2019.

FERGÜTZ, Marcos. Instalações elétricas projeto residencial módulo iii Especificação da Fiação, Proteção e Eletrodutos. 2018. Disponível em: < https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/9731/projeto_residencial_3_v5_18_15681183377749_9731.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2022.

FERNANDES, Fellipe de Mello. Estudo de caso para implementação da norma NBR 5419: 2015 nos blocos 3, 4, 5 e 8 do Campus Asa Norte do UniCEUB.

FONTE SUL ENERGY SOLUTIONS. Sistema fotovoltaico: quais são os tipos de estrutura? Publicação realizada em 14 de maio de 2021. Disponível em: < <https://www.fontesul.com.br/sistema-fotovoltaico-quais-sao-os-tipos-de-estrutura/>>. Acesso em: 25 de março de 2022. Tabela 03.

GADELHA, M. et al. O Mercado De Software No Brasil: Problemas Institucionais E Fiscais. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2007.

GOMES, J. et al. impacto da sujidade sobre o desempenho de sistemas fotovoltaicos. [s.l: s.n.].

GOODWER SOLAR ENGINE. Proteção de fusível em inversores solar. ver01, nov 01, 2020. Disponível em: < <https://jp.goodwe.com/Public/Uploads/solars/technicaldocuments/20201116%20%20Portuguese%20%20GoodWe%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20Fus%C3%ADvel%20em%20Inversores%20Solar.pdf>>. Acesso em: 27 de março de 2022. Fig. 15.

GREENNOVATION. O que é e para que serve a placa de energia solar fotovoltaica. Publicação realizada em 19 de janeiro de 2022. Disponível em: < <https://greenovation.com.br/o-que-e-e>

para-que-serve-a-placa-de-energia-solar-fotovoltaica/ >. Acesso em: 25 de março de 2022. Fig. 08.

GUIMARÃES, Jéssica Luíza Cabral; Xisto, Jordy Braga. estudo bibliográfico sobre a evolução do perfil dos dispositivos de proteção contra surtos elétricos baseado nas normas técnicas. 2019.

HEGEDUS, Steven; Luque, Antonio. Achievements and challenges of solar electricity from photovoltaics. Handbook of photovoltaic science and engineering, p. 1-38, 2011.

HERING, G., “Year of the tiger - PV cell output roared in 2010 to over 27 GW - beating 2006 through 2009 combined - but can the year of the rabbit bring more multiples?”, Photon International, pp. 186-214, Mar. 2011. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rmat/a/WWQ85hdY8trTbGXfykk8Ttm/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso em: 24 de março de 2022.

IMHOFF, Johninon et al. Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. 2020. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. - Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 1990- ISSN 1415-4765. Disponível em: < http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9680/1/TD_2541.pdf>. Acesso em: 18 de março de 2022.

INSTITUTO SOLAR. Software Pvsyst: Descubra as principais características da Ferramenta de SFV's. Publicação realizada em 16 de junho de 2020. Disponível em: < <https://institutosolar.com/software-Pvsyst/> >. Acesso em: 03 de abril de 2022. Fig. 24.

JEAN, Joel et al. Pathways for solar photovoltaics. Energy & Environmental Science, [s.l.], v. 8, n. 4, p.1200- 1219, 2015. Royal Society of Chemistry (RSC). Disponível em: < https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188037/TCC_MARCELOCRISTIAN_OLUDKE_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 de março de 2022.

JÚNIOR, DELMIR PEIXOTO DE AZEVEDO; CAMPOS, RENATO DE. Definição de requisitos de software baseada numa arquitetura de modelagem de negócios. Produção, v. 18, n. 1, p. 026-046, jan./abr. 2008. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/prod/a/4fyvdWfsVydQRfhqTCRJ8vL/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso: em 02 de abril de 2022.

KINDERMANN, G. Curto- Circuito. 2ª. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9823/1/CT_COELE_2018_1_21.pdf>. Acesso em: 27 de março de 2022.

KRUCHTEN, P. Introdução ao RUP: Rational Unified Process. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/prod/a/4fyvdWfsVyDQRfhqTCRJ8vL/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso: em 02 de abril de 2022. Fig. 23.

LACCHINI, C.; Antonioli, A. F.; Rüter, R. The influence of different irradiation databases on the assessment of the return of capital invested in residential PV systems installed in different locations of the Brazilian territory. *Solar Energy*, v. 155, p. 893–901, 1 out. 2017.

LACCHINI, C.; ANTONIOLLI, A. F.; RÜTHER, R. The influence of different irradiation databases on the assessment of the return of capital invested in residential PV systems installed in different locations of the Brazilian territory. *Solar Energy*, v. 155, p. 893–901, 1 out. 2017.

LHENDUP, T.; LHUNDUP, S. Comparison of methodologies for generating a typical meteorological year (TMY). *Energy for Sustainable Development*, v. 11, n. 3, p. 5–10, 1 set. 2007.

LHENDUP, T.; LHUNDUP, S. Comparison of methodologies for generating a typical meteorological year (TMY). *Energy for Sustainable Development*, v. 11, n. 3, p. 5–10, 1 set. 2007.

LILLO-SÁNCHEZ, L. et al. Degradation analysis of photovoltaic modules after operating for 22 years. A case study with comparisons. *Solar Energy*, v. 222, p. 84–94, 1 jul. 2021.

LIMA, Ariane A.; MENEZES, Natalia Pereira; SANTOS, Sthefany; AMORIM, Byanca; THOMAZI, Fabiano; ZANELLA, Fernando; HEILMANN, Armando, BURKARTER, E.; DARTORA, Cesar A. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. Recebido em julho 30 de 2019. Revisado em agosto 27 de 2019. Aceito em agosto 28 de 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8dMHk7CDmSfs/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 22 de março de 2022.

LIRA, Marcos Antônio Tavares; MELO, Marina Larisse da Silva; RODRIGUES, Larissa Mendes; SOUZA, Tatiana Ribeiro Militão. Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO₂ no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de*

Meteorologia, v. 34, n. 3, 389–397, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/69q66CQbN37FRchhFy7V7vR/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 22 de março de 2022.

LÜDKE, Marcelo Cristiano. A rota metalúrgica do silício: da extração do quartzo à obtenção do silício de grau fotovoltaico. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro (a) em Energia. ARARANGUÁ, SC Junho 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188037/TCC_MARCELOCRISTIAN_OLUDKE_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 de março de 2022.

MAGHAMI, Mohammad Reza et al. Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 59, p. 1307-1316, 2016.

MARINOSKI, L.D.; Salamoni, I.T.; Ruther, R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. In: Anais 1º Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, E 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo: ENTAC, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/69q66CQbN37FRchhFy7V7vR/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 22 de março de 2022.

MATAVELLI, Augusto Cesar. Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas / Augusto Cesar Matavelli; orientador: Alexandre Eliseu Stourdze Visconti. - Lorena: 2013. 34f. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2013/MEQ13015.pdf>>. Acesso em: 18 de março de 2022. Fig. 01.

MATTOS, M. A. (2004). Técnicas de Aterramento. Okime, Campinas. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ca/a/nSWpLcFp9rwx6GphzPpJQbm/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 30 de março de 2022.

MAYER, M. J. Influence of design data availability on the accuracy of physical photovoltaic power forecasts. *Solar Energy*, v. 227, p. 532–540, 1 out. 2021.

MEJIA, F. A.; KLEISSL, J. Soiling losses for solar photovoltaic systems in California. *Solar Energy*, v. 95, p. 357–363, 2013.

MEJIA, F. A.; KLEISSL, J. Soiling losses for solar photovoltaic systems in California. *Solar*

Energy, v. 95, p. 357–363, 2013.

MINHA CASA SOLAR. Proteção contra surtos elétricos: como escolher o DPS ideal? Publicação realizada em 12 de fevereiro de 2019. Disponível em: < <http://blog.minhacasasolar.com.br/protECAo-contrA-surtos-eletricos/>>. Acesso em: 28 de março de 2022. Fig. 18.

MUNDO DA ELÉTRICA. Aterramento elétrico, tipos e usos. Publicação em 2022. Disponível em: < <https://www.mundodaeletrica.com.br/aterramento-eletrico-tipos-e-usos/>>. Acesso em: 29 de março de 2022. Fig. 22.

NERY, N. Instalações Elétricas. São Paulo: Érica, 2011. Disponível em: < <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/12756/1/21407464.pdf>>. Acesso em: 27 de março de 2022.

NIEDZIALKOSKI, Rosana Krauss. Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água. Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre. Cascavel Paraná - Brasil junho– 2013. Disponível em: < https://www5.unioeste.br/portalunioeste/arq/files/PPGEA/Dissertacao_Rosana_K_Niedzialkoski.pdf >. Acesso em: 24 de março de 2022.

OCA SOLAR ENERGIA. Sistema Fotovoltaico Híbrido: Entenda o Que é e Suas Aplicações. Publicação realizada em 28 de abril de 2021. Disponível em: < <https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/>>. Acesso em: 26 de março de 2022. Fig. 13.

OLIVEIRA, Thalles Rodrigues de.; Geração De Energia X Impacto Ambiental.; UEMG.; Minas Gerais.; 2011. Disponível em: < https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181288/pereira_nx_me_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 18 de março de 2022.

PAULINO, J. O. S. et al. Proteção de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos Contra Surtos Elétricos em Instalações. 1. ed. Lagoa Santa: Clamper, 2016. Disponível em: < <http://dspace.doctum.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2266/ESTUDO%20BIBLIOGR%3%81FICO%20SOBRE%20A%20EVOLU%3%87%3%83O%20DO%20PERFI>

L%20DOS%20DISPOSITIVOS%20DE%20PROTE%c3%87%c3%83O%20CONTRA%20SURTOS%20EL%c3%89TRICOS%20BASEADO%20NAS%20NORMAS%20T%c3%89CNI CAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Acesso em: 29 de março de 2022. Fig. 20.

PEREIRA, Osvaldo L. S.; GONÇALVES, Felipe F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema de tubarão – SC. Revista Brasileira de Energia, Vol. 14, No. 1, 1o Sem. 2008, pp. 25-45. Disponível em: < <https://www.sbpe.org.br/index.php/rbe/article/download/214/195/>>. Acesso em: 25 de março de 2022. Fig. 06.

PINHO, João Tavares et al. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, v. 1, p. 47-499, 2014.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. 2014. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139146/000864927.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 24 de março de 2022.

PINTO, Marina Aparecida. Utilização de painéis solares fotovoltaicos no segmento residencial / Marina Aparecida Pinto – Guaratinguetá, 2015. 68 f: il. Bibliografia: f. 65-68. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139146/000864927.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 24 de março de 2022.

PORTAL SOLAR. Como Funciona o Painel Solar Fotovoltaico (Placas Fotovoltaicas), 2022. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 24 de março de 2022. Fig. 03 e 10.

PROGRAMA ALTENER. (2004). Energia Fotovoltaica-Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Europa: Comissão Europeia: Projeto GREENPRO. Disponível em: < <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024105.pdf>>. Acesso em: 22 de março de 2022. Tabela 02.

PVSYST, 2022. Validations on old versions of PVsyst. Disponível em: < https://www.pvsyst.com/help/validations_oldsystems.htm>. Acesso em: 24 de março de 2022.

RAZOR. Sketchup: o que é e qual sua contribuição para arquitetura? Publicação realizada em 29 de outubro de 2019. Disponível em: < <https://razor.com.br/blog/tecnologia/sketchup/>>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

RENEWABLE ENERGY LABORATORY, N. et al. Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.nrel.gov/publications>.

RIBSOL ENERGIA SOLAR. Sistemas fotovoltaicos: mais economia e conforto. Publicação realizada em 2022. Disponível em: < <https://ribsol.com.br/sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 26 de março de 2022. Fig. 09.

RODRÍGUEZ-MUÑOZ, J. M.; BOVE, I.; ALONSO-SUÁREZ, R. Novel incident angle modifier model for quasi-dynamic testing of flat plate solar thermal collectors. Solar Energy, v. 224, p. 112–124, 1 ago. 2021.

SANTOS, Leonardo Nery Carrijo dos., et al. Dimensionamento prático de um sistema fotovoltaico - estudo de caso utilizando o software pvsyst. XVI CEEL - ISSN 2178-8308 Universidade Federal de Uberlândia 05 a 09 de novembro de 2018. Disponível em: < https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/artigos/artigo_304.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

SANTOS, Sérgio Roberto. Proteção contra descargas atmosféricas em usinas fotovoltaicas. Publicação realizada em 18 de agosto de 2020. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/protacao-contra-descargas-atmosfericas-em-usinas-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 27 de março de 2022. Fig. 14.

SOLAR PRO ENGENHARIA. 5 Boas Práticas para cuidar de seu Inversor Fotovoltaico. Publicação realizada em 27 de fevereiro de 2020. Disponível em: < <https://solarproengenharia.com/detalhes-noticia/5-boas-praticas-para-cuidar-de-seu-inversor-fotovoltaico>>. Acesso em: 25 de março de 2022. Fig. 07.

SOLSTAR. O impacto do inversor solar na energia fotovoltaica. Publicação realizada em 26 de maio de 2021. Disponível em: < <https://solstar.com.br/2021/05/26/o-inversor-no-sistema-de-energia-solar/>>. Acesso em: 25 de março de 2022.

SOUSA, Cleberton Pereira de.; TIAGO, Aparecido Silveira Franco. Projeto e instalação de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de distribuição. Curitiba 2018. Disponível em: < <http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/493.pdf>>. Acesso em: 25 de março de 2022.

SOUSA, Guilherme Wiering de Resende. Estudo de instalação de sistema fotovoltaico em edificações de pequeno porte. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro. Disponível em: < <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024105.pdf>>. Acesso em: 22 de março de 2022.

SUETA, Hélio Eiji. Proteção para instalações fotovoltaicas: melhor é prevenir. Publicação realizada em 25 de fevereiro de 2021. Disponível em: < <https://revistapotencia.com.br/eletricista-consciente/instalacao-fotovoltaica/protecao-para-instalacoes-fotovoltaicas-melhor-e-prevenir/>>. Acesso em: 27 de março de 2022.

TONINI, A. C.; Carvalho, M. M.; Spinola, M. M. Contribuição dos modelos de qualidade e maturidade na melhoria dos processos de software. Produção, v. 18, n. 2, p. 275-286, 2008. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/prod/a/hVWM5wDTD6vYzGRcq7FzSxc/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

TOTALCAD. Faça melhores projetos com o SketchUp LayOut em 2018. Publicação realizada em 2017. Disponível em: < <https://blog.totalcad.com.br/melhores-desenhos-com-sketchup-layout/>>. Acesso em: 04 de abril de 2022. Fig. 25.

VILLALVA, Marcelo. Funções e requisitos técnicos dos inversores fotovoltaicos. Publicação realizada em 10 de dezembro de 2019. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/funcoes-e-requisitos-tecnicos-dos-inversores-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 25 de março de 2022. Fig. 06.

VISACRO, S. (1992). Modelagem de Aterramentos Elétricos. Tese de Doutorado, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPER/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/ca/a/nSWpLcFp9rwx6GphzPpJQbm/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 30 de março de 2022.

Anexo A – Folha técnica do Módulo Fotovoltaico Trina Solar TSM (345,350) PE15H.

Mono **Multi** Solutions



THE TALLMAX

FRAMED 72 LAYOUT MODULE

72 LAYOUT
MULTICRYSTALLINE MODULE

340-355W
POWER OUTPUT RANGE

17.7%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

PRODUCTS	POWER RANGE
TSM-PE15H	340-355W

High power

- Up to 355W front power and 17.7% module efficiency with half-cut technology bringing more BOS savings
- Lower resistance of half-cut ensure high power

High reliability

- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to salt, acid and ammonia
- Certified to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load

High energy generation

- Excellent IAM and low light performance validated by 3rd party with cell process and module material optimization
- Lower NMOT bring more energy leading to lower LCOE
- Better anti-shading performance and lower operating temperature

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading total solution provider for solar energy. With local presence around the globe, Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and deliver our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable brand. Trina Solar now distributes its PV products to over 100 countries all over the world. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with installers, developers, distributors and other partners in driving smart energy together.

Comprehensive Products and System Certificates

IEC61215/IEC61730/UL1703/IEC61701/IEC62716
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO 14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
 OHSAS 18001: Occupation Health and Safety Management System





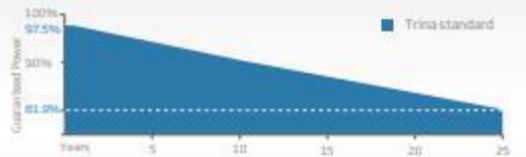






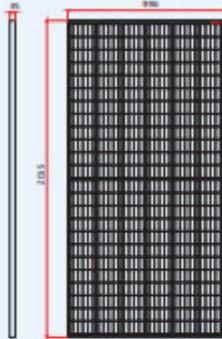
PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty - 25 Year Power Warranty

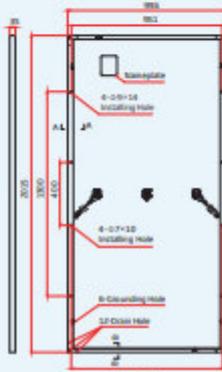


From the 2nd year to the 25th year, the average annual power decline will be no more than 0.65%.

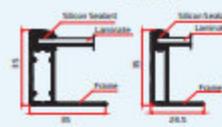
DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



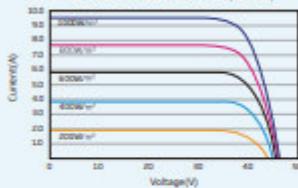
Front View



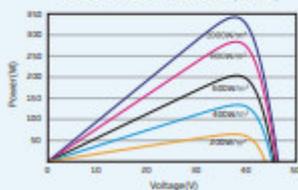
Back View



I-V CURVES OF PV MODULE(345W)



P-V CURVES OF PV MODULE(345W)



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{max} (Wp)*	340	345	350	355
Power Output Tolerance- P_{max} (W)	0 ~ +5			
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V)	37.5	37.7	37.9	38.1
Maximum Power Current- I_{mp} (A)	9.06	9.15	9.23	9.32
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	46.2	46.4	46.7	47.0
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	9.53	9.62	9.71	9.81
Module Efficiency η (%)	16.9	17.2	17.4	17.7

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5
 *Measuring tolerance: ±3%

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Maximum Power- P_{max} (Wp)	257	261	265	269
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V)	35.5	35.7	35.9	36.1
Maximum Power Current- I_{mp} (A)	7.24	7.31	7.37	7.45
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	43.5	43.7	44.0	44.2
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	7.69	7.76	7.83	7.91

NMOT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 3m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Multicrystalline
Cell Orientation	144 cells (6 × 24)
Module Dimensions	2015 × 996 × 35 mm (79.33×39.21×1.38 inches)
Weight	22.0 kg (48.5 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: N 140mm/P 285mm(5.51/11.22inches) Landscape: N 1400 mm/P 1400 mm (55.12/55.12 inches)
Connector	MC4 EV02 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C (±3°C)
Temperature Coefficient of P_{max}	-0.38%/°C
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.31%/°C
Temperature Coefficient of I_{sc}	0.05%/°C

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	20A

WARRANTY

10 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

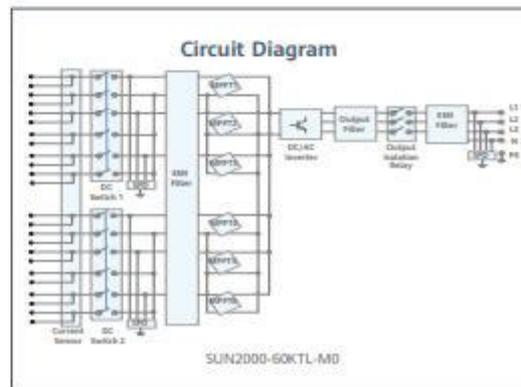
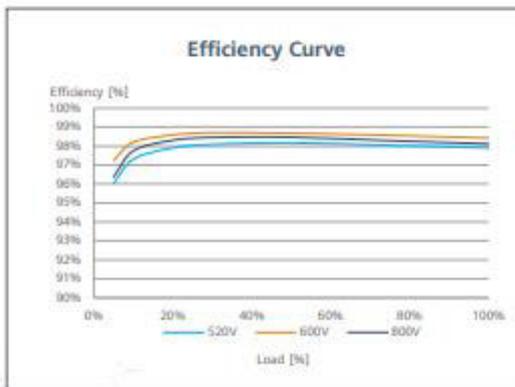
Modules per box: 30 pieces
Modules per 40' container: 660 pieces

Anexo B – Folha técnica do Inversor Huawei SUN2000-60KTL-M0.

SUN2000-60KTL-M0
Smart PV Controller



- 
Smart
 12 strings intelligent monitoring
- 
Efficient
 Max. efficiency 98.7%
- 
Safe
 Fuse free design
- 
Reliable
 Type II surge arresters for DC & AC



SUN2000-60KTL-M0
Technical Specification

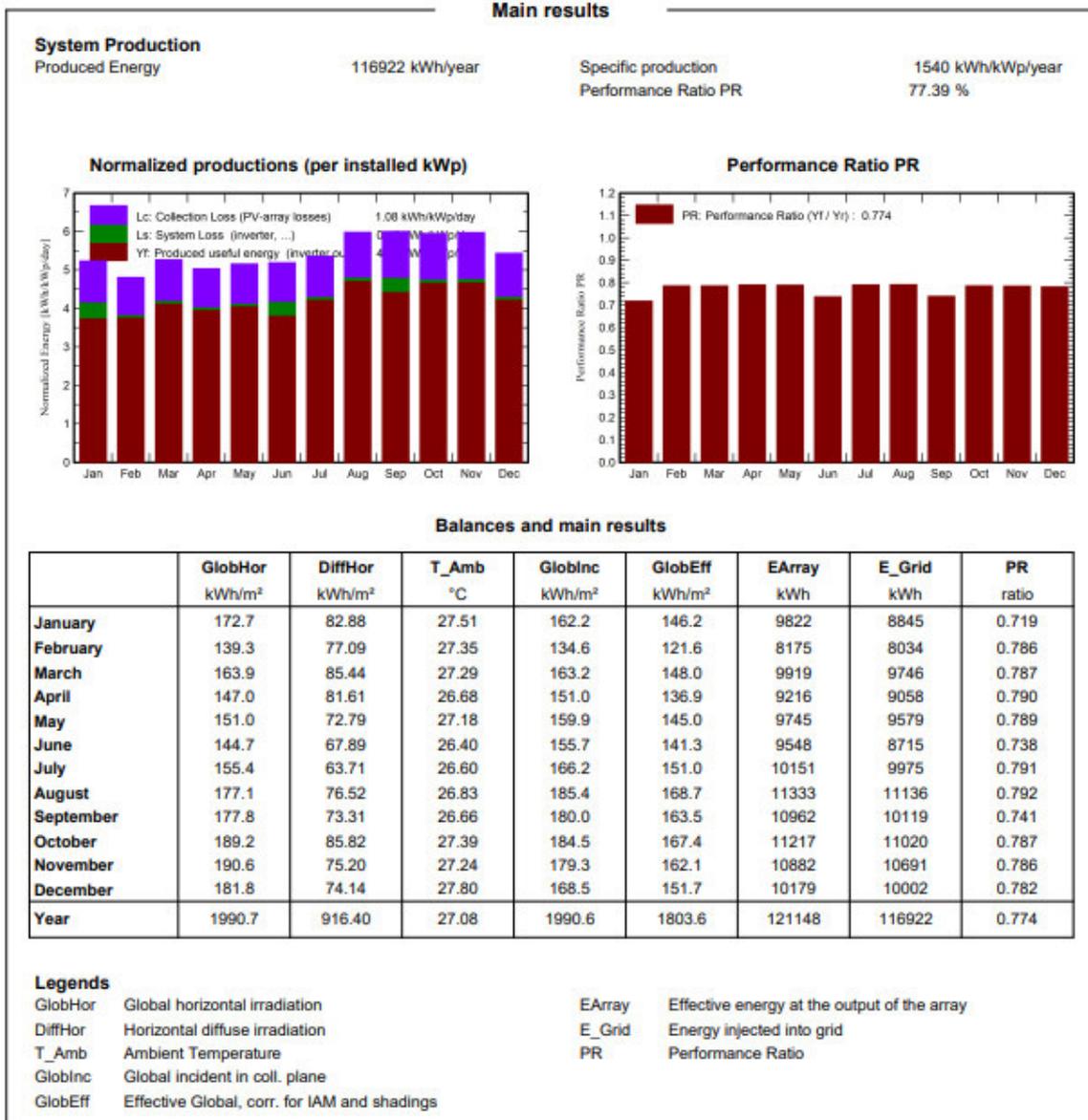
Technical Specification	SUN2000-60KTL-M0
Efficiency	
Max. efficiency	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
European efficiency	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V - 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of MPP trackers	6
Max. input number per MPP tracker	2
Output	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings; 277 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. Output Current	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading - 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED indicators; WLAN adaptor + FusionSolar APP
RS485	Yes
USB	Yes
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (isolation transformer required)
Smart Dongle-4G	4G / 3G / 2G via Smart Dongle - 4G (Optional)
General Data	
Dimensions (W x H x D)	1,075 x 555 x 300 mm (42.3 x 21.9 x 11.8 inch)
Weight (with mounting plate)	74 kg (163.1 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C - 60°C (-13°F - 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 - 100%
DC Connector	Amphenol Helios H4
AC Connector	Waterproof PG Terminal + Terminal Clamp
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	< 2 W
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Grid Connection Standards	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, VDE 4120, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11

¹The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.
²Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.

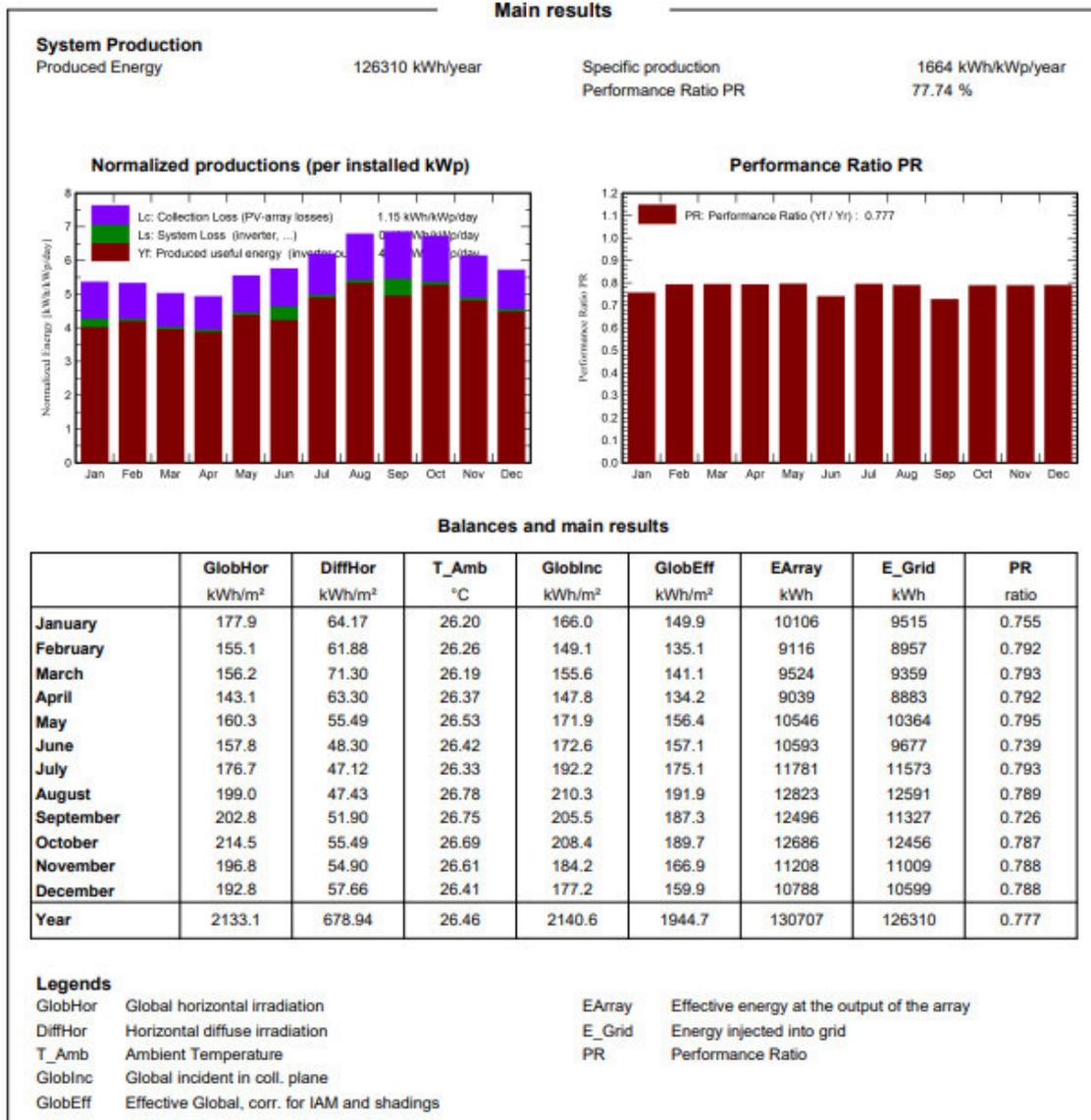
Version No.04-(20201006)

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

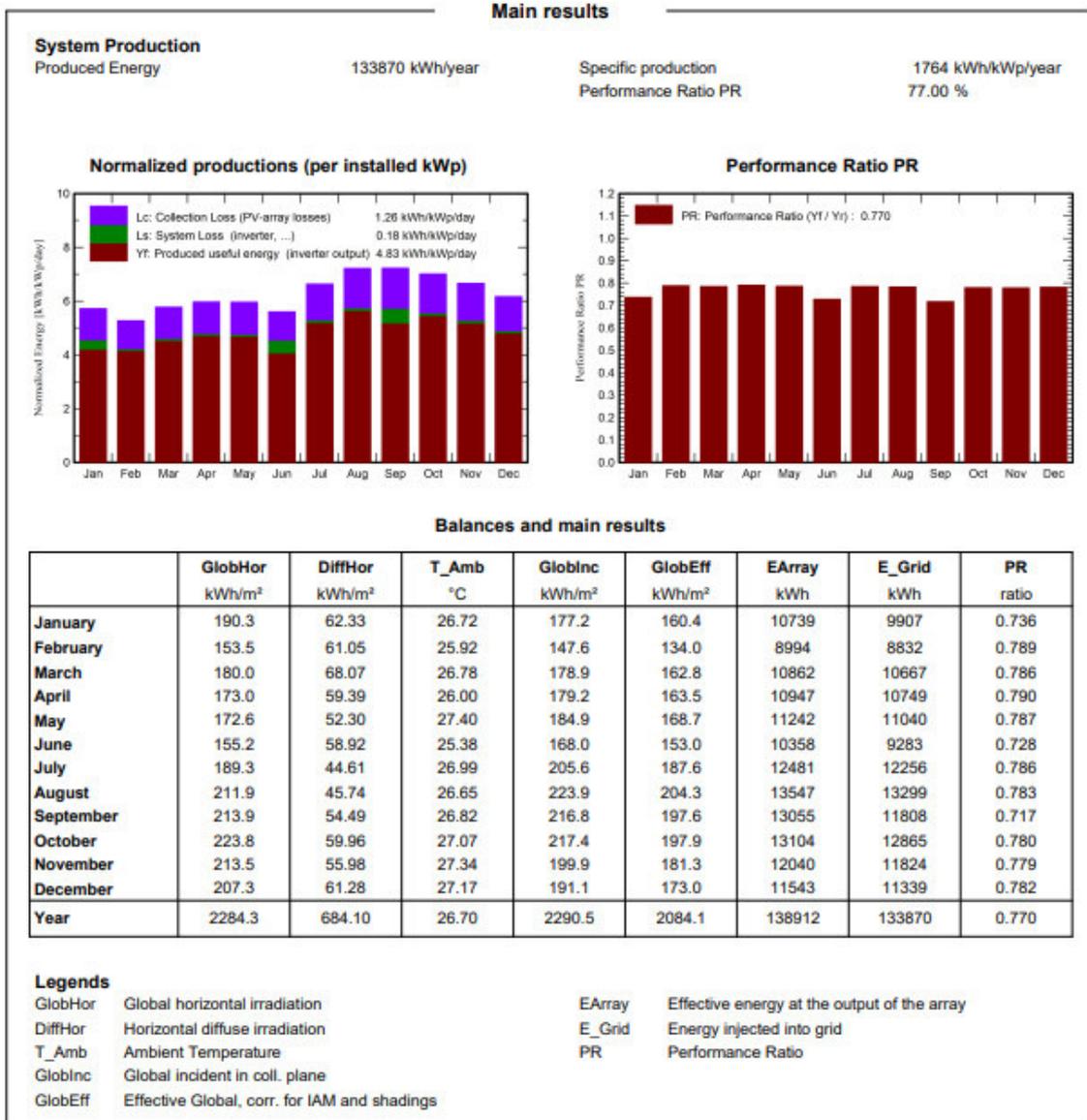
Anexo C – Resultados da simulação com a base de dados *Meteonorm V00*.



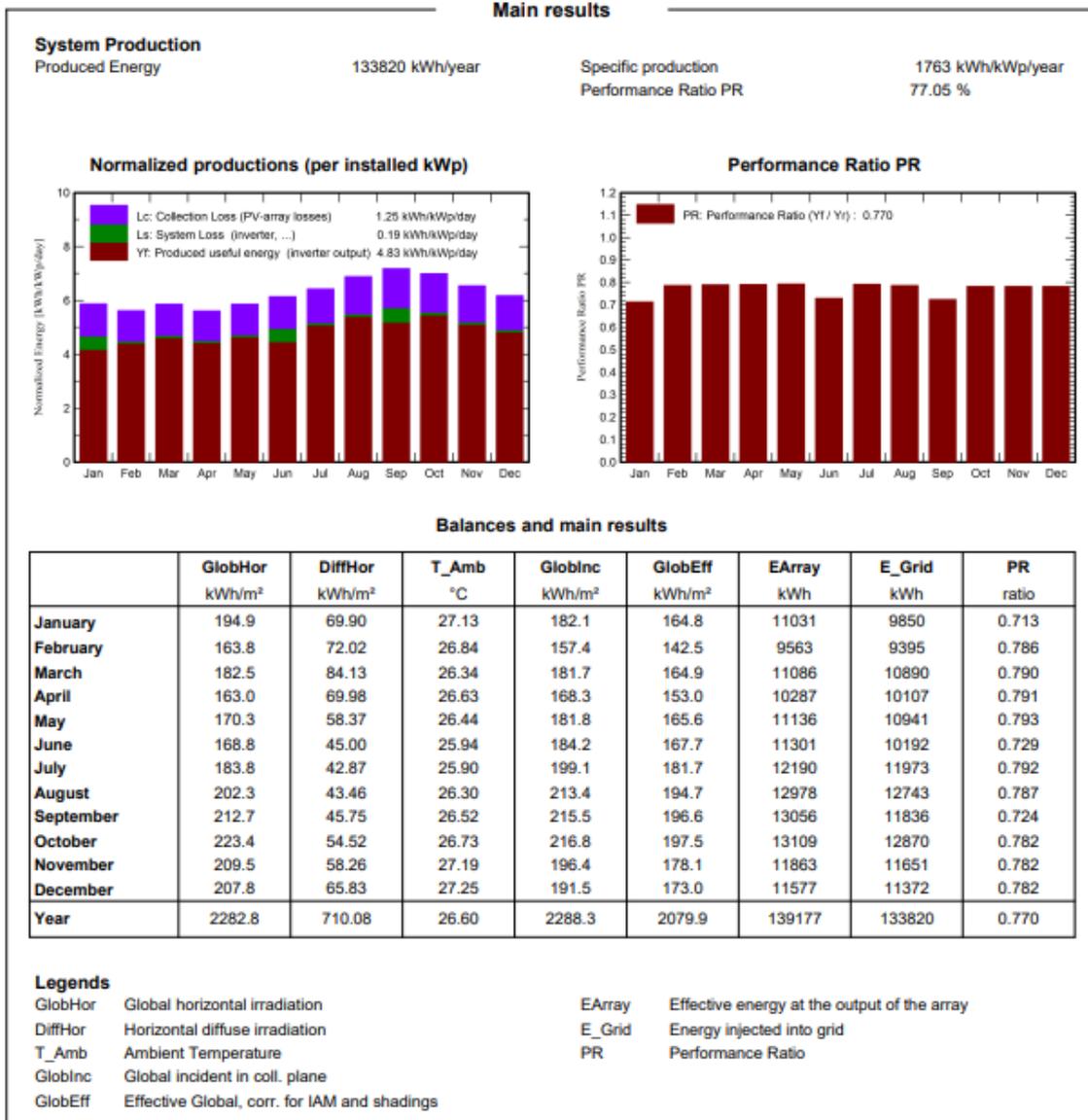
Anexo D – Resultados da simulação com a base de dados NASA V01.



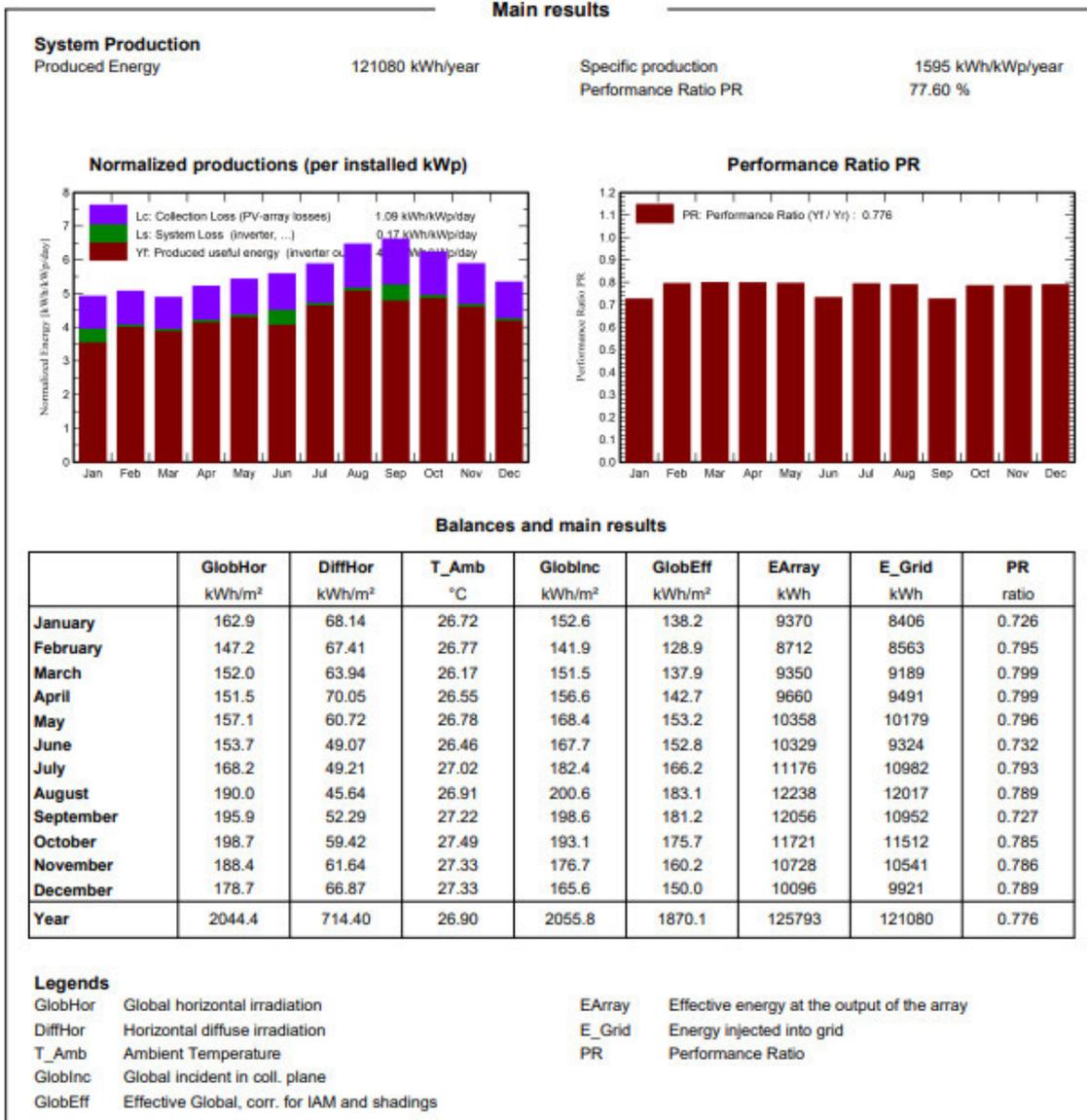
Anexo E – Resultados da simulação com a base de dados *PVGIS V02*.



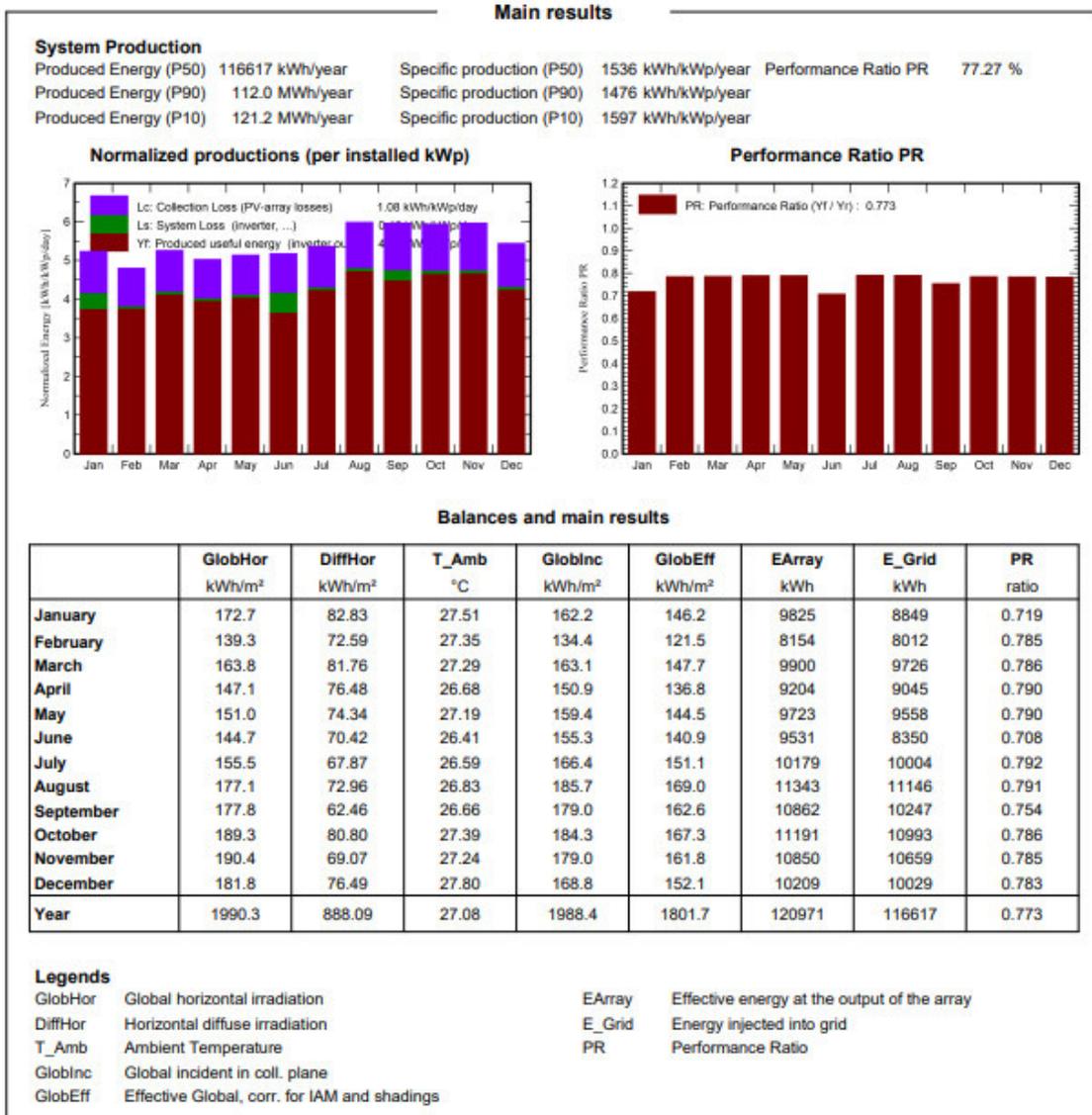
Anexo F – Resultados da simulação com a base de dados *NREL V03*.



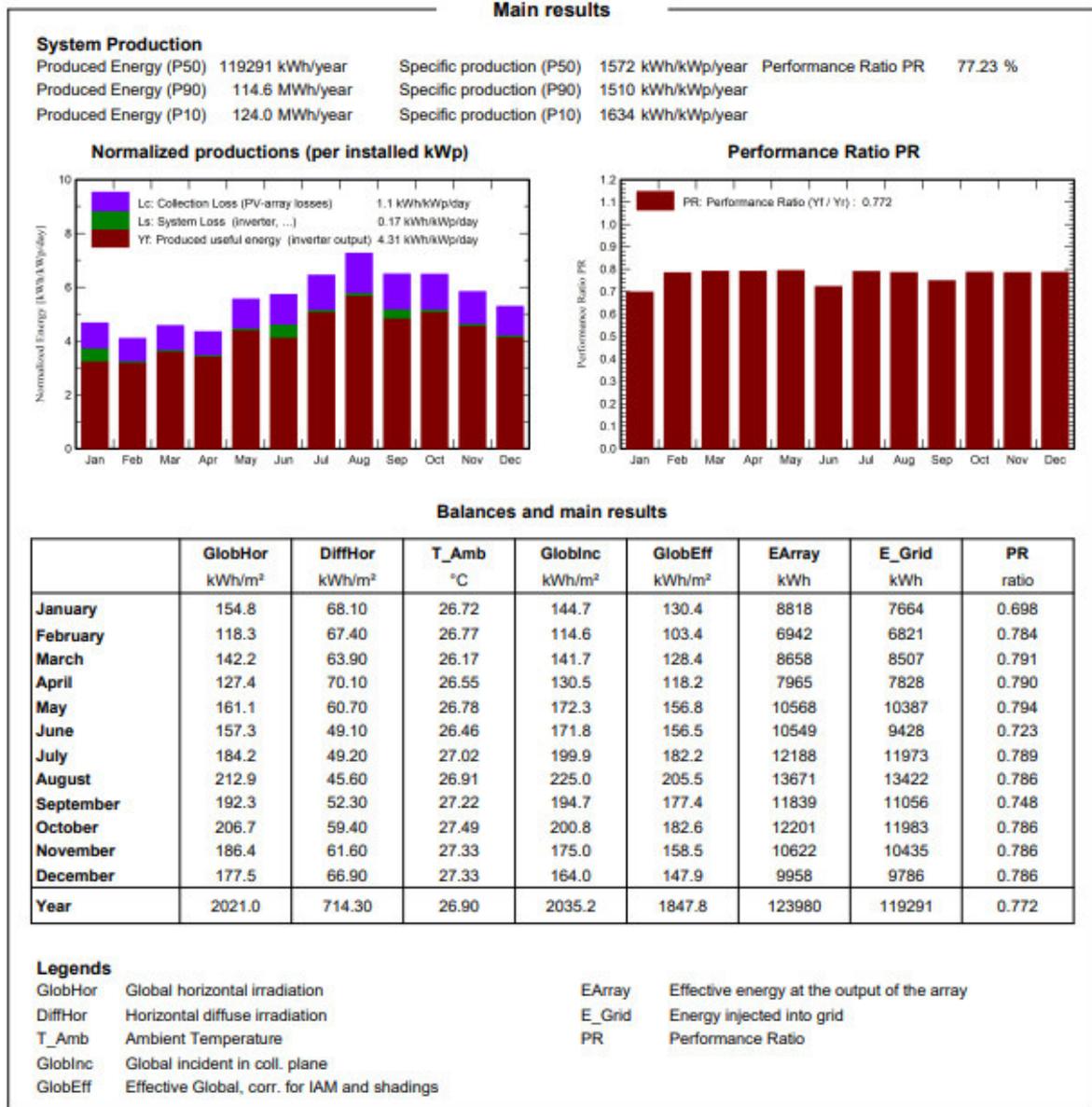
Anexo G – Resultados da simulação com a base de dados *Solcast V04*.



Anexo H – Resultados da simulação com a base de dados *Atlas Solar do Ceará V05*.



Anexo I – Resultados da simulação com a base de dados *Openei Swera V06*.



Anexo J – Resultados da simulação com a base de dados CRESESB V07.

