



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**EMERSON CHRISTIAN BASTOS FERREIRA**

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: AVALIAÇÃO DE  
DESEMPENHO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA DE FORTALEZA-CE**

SÃO LUÍS - MA

2022

**EMERSON CHRISTIAN BASTOS FERREIRA**

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: AVALIAÇÃO DE  
DESEMPENHO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA DE FORTALEZA-CE**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Silvangelia Lilian da Silva, D. Sc.

SÃO LUÍS - MA

2022

**EMERSON CHRISTIAN BASTOS FERREIRA**

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: AVALIAÇÃO DE  
DESEMPENHO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA DE FORTALEZA-CE**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Silvangela Lilian da Silva, D. Sc.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvangela Lilian da Silva Lima Barcelos  
Universidade Federal do Maranhão  
Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr. Shigeaki Leite de Lima  
Universidade Federal do Maranhão  
Examinador

Prof. Dr. Bartolomeu Ferreira dos Santos Junior  
Universidade Federal do Piauí  
Examinador

Data de Aprovação

SÃO LUÍS - MA

03 de agosto de 2022

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me concedido sabedoria, força de vontade, disciplina e todas as vitórias conquistadas.

Aos meus pais: Humberto de Jesus Ferreira e Ellen Christine Bastos Ferreira pela educação a mim dispensada.

A minha noiva Hayne Pamella Alves Araújo e aos meus irmãos: Humberto Júnior e Héllia Karoline, que muito me ajudaram e me apoiaram nos momentos de lutas.

À professora e orientadora Silvangela Lilian Barcelos, pela paciência e apoio durante a minha carreira universitária.

Aos amigos: Luís Felipe, Yoseph Michael, Fernando Pessoa, Marcelo Coelho, Marcos Gabriel, Matheus Magno, Luana Sofia, Luan Mendes, Hugo Brandão, Lina Rosa, Zaqueu Feques e Rayanne Paz pelo apoio a mim dispensado.

A todos os demais mestres pelos conhecimentos transmitidos, em especial ao Prof. Dr. Nelson José Camelo, pelas lições de sabedoria que pude absorver durante minha vida acadêmica.

E finalmente a coordenação do curso de graduação da Universidade Federal do Maranhão pelo apoio institucional e também a esta maravilhosa instituição de ensino.

“Não sejas sábio a teus próprios olhos; teme ao Senhor e aparta-te do mal”.

Provérbios – 3:7

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

FERREIRA, EMERSON.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: AVALIAÇÃO DE  
DESEMPENHO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA DE FORTALEZA-CE /  
EMERSON FERREIRA. - 2022.

71 p.

Orientador(a): Silvangela Barcelos.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica,  
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

1. ENERGIA. 2. SOLAR. 3. USINA. I. Barcelos,  
Silvangela. II. Título.

## RESUMO

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL contabilizou no mês de setembro de 2021 um total de 4.882,88 megawatts (MW) em usinas de geração de energia elétrica liberadas para operação comercial em 2021, antecipando-se em mais de três meses à expectativa de 4.790,4 MW definida no início do ano. Embora seja pequena em relação a outras fontes de energia, a implantação de usinas solares fotovoltaica de grande porte é cada vez mais necessária para evolução da matriz energética no Brasil. Sendo que, para as usinas desempenharem o seu papel é necessário atender diversos padrões e normas impostos pela Agência Nacional de Energia Elétrica e Concessionárias de Energia da Região, além de análises técnicas de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho para que estas desempenhem seu papel como foram projetadas. Este trabalho visa avaliar e comparar a operação de uma usina solar fotovoltaica em funcionamento, diante das características do que foi projetado no software PVsyst de simulação e perante dados extraídos do sistema de monitoramento. Para que os resultados dos parâmetros simulados sejam comparados com os de operação, serão considerados os seguintes parâmetros: irradiância, temperatura ambiente, temperatura dos módulos, Performance Ratio (PR) e Yield. Sendo assim, dados relevantes para uma eventual melhoria do sistema e assertividade do investimento.

Palavras-chave: usinas solares fotovoltaicas; desempenho de sistemas fotovoltaicos, parâmetros de desempenho;

## **ABSTRACT**

The National Agency of Electrical Energy - ANEEL counted in September 2021 a total of 4,882.88 megawatts (MW) in power plants released for commercial operation in 2021, anticipating by more than three months the expectation of 4,790.4 MW set at the beginning of the year. Although small in relation to other energy sources, the implementation of large solar photovoltaic plants is increasingly necessary for the evolution of the energy matrix in Brazil. In order for the plants to play their role, it is necessary to meet several standards and norms imposed by the National Electric Energy Agency and the region's energy concessionaires, as well as technical analyses of commissioning, inspection, and performance evaluation so that they can play their role as they were designed. This work aims to evaluate and compare the operation of a working photovoltaic solar plant against the characteristics of what was designed in the PVsyst simulation software and against data extracted from the monitoring system. In order to compare the results of the simulated parameters with those of operation, the following parameters will be considered: irradiance, ambient temperature, module temperature, Performance Ratio (PR) and Yield. Thus, relevant data for an eventual improvement of the system and assertiveness of the investment.

Keywords: solar photovoltaic plants; performance of photovoltaic systems, performance parameters;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil .....	17
Figura 2.2 - Componentes Básicos de Sistemas Fotovoltaicos .....	18
Figura 2.3 - Conjunto de Paineis fotovoltaicos .....	19
Figura 2.4 - Estrutura Metálica e Inversor .....	21
Figura 2.5 - Configuração de Sistemas Off-grid .....	22
Figura 2.6 - Configuração de Sistemas Híbridos .....	22
Figura 2.7 - Configuração de Sistemas On-grid.....	23
Figura 2.8 - Topologia Básica de uma UFV de Grande Porte Conectado à Rede .....	24
Figura 2.9 - Configuração de Strings em <i>leap-frog</i> de UFV .....	24
Figura 2.10 - Diagrama de Blocos do Fluxo de Simulação.....	25
Figura 2.11 - Sensores Solarimétricos.....	28
Figura 2.12 - <i>EZ-LOGGER</i> .....	28
Figura 2.13 - Piranômetro utilizado na Usina IFCE-FORTALEZA .....	29
Figura 2.14 - Anemômetro utilizado na Usina IFCE-FORTALEZA.....	31
Figura 2.15 - Termômetro Ambiente utilizado na Usina IFCE-FORTALEZA.....	32
Figura 2.16 - Termômetro Instalado junto ao Módulo Fotovoltaico na Usina IFCE-FORTALEZA.....	33
Figura 3.1 - Tela Inicial PVsyst .....	35
Figura 3.2 - Definição da Localização do Banco de Dados Solarimétricos.....	36
Figura 3.3 - Definição da Orientação do Sistema .....	37
Figura 3.4 - Definição de horizonte .....	37
Figura 3.5 - Definição dos Detalhes Técnicos e Dimensionamento do Sistema.....	38
Figura 3.6 - Definição das Perdas Térmicas, Perdas ôhmicas, Sujidade, Indisponibilidade e outras.....	38
Figura 3.7 - Definição de Qualidade dos Módulos - LID - Mismatch .....	39
Figura 3.8 - Modelagem 3D.....	40
Figura 4.1 - Gráfico dos parâmetros de simulação PVsyst .....	42
Figura 4.2 - Gráfico dos parâmetros de medidos pelos sensores .....	43
Quadro 4.1 - Gráfico dos parâmetros de medidos pelos sensores.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Parâmetros Técnicos do Piranômetro .....	30
Tabela 2.2 - Parâmetros Técnicos do Anemômetro .....	31
Tabela 2.3 - Parâmetros Técnicos do Termômetro Ambiente .....	32
Tabela 2.4 - Parâmetros Técnicos do Termômetro instalado junto ao Módulo Fotovoltaico ...	33
Tabela 4.1 - Parâmetros de simulação PVsyst .....	43
Tabela 4.2 - Parâmetros de medição dos sensores solarimétricos .....	44
Tabela 4.3 - Diferença dos parâmetros de medição e simulação .....	45
Tabela 4.4 - Percentual dos parâmetros de medição e simulação .....	46
Tabela 4.5 - Erro Quadrático Médio da diferença dos parâmetros de medição e simulação ....	47

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DPS	Dispositivo de proteção contra surtos
IEC	International Electrotechnical Commission
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Servios
$I_{sc}$	Corrente de curto circuito de módulo FV
$I_M$	Corrente de máxima potência de gerador FV
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
$P_M$	Potência máxima de gerador FV
REN	Resolução Normativa
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
UC	Unidade Consumidora
UFV	Usina Fotovoltaica
$V_{oc}$	Tensão de circuito aberto de módulo FV
$V_M$	Tensão de máxima potência de gerador FV

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Contextualização .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Estrutura do Texto.....</b>	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Princípios da Energia Solar Fotovoltaica.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.1 Histórico.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2 Potencial da Energia Fotovoltaica no Brasil .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Conceitos básicos sobre sistemas fotovoltaicos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1 Painéis Fotovoltaicos.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 Inversores .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Usinas Fotovoltaicas Conectadas a Rede .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Componentes de Simulação e de Avaliação de Desempenho para Sistemas Fotovoltaico .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.1 Índice de Produtividade (Yield).....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.2 Performance Ratio (PR).....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.3 Sensores Solarimétricos .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.3.1 Piranômetro.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.3.2 Anemômetro .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.3.3 Termômetros .....</b>	<b>32</b>
<b>3 LEVANTAMENTO E APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COM O SOFTWARE.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 PVsyst.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Configurações Iniciais e simulação de um projeto de UFV .....</b>	<b>34</b>

<b>3.2.1</b>	<b>Criação do Banco de dados solarimétricos .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Definição da Orientação do Sistema Fotovoltaico.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Definição de detalhes técnicos da UFV .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Definição das Perdas.....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO - USINA FOTOVOLTAICA FORTALEZA – CE.....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>48</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>500</b>
	<b>ANEXO I – Relatório de Simulação PVsyst da UFV FORTALEZA .....</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO II–Diagrama Unifilar, Projetos e Folhas de Dados da UFV FORTALEZA.....</b>	<b>64</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização

O consumo nacional de eletricidade em julho de 2021, foi de ordem de 39.950 GWh, o maior para o mês em toda a série histórica, desde 2004. Destacaram-se as classes industrial e comercial, com taxas ainda expressivas de crescimento. O consumo acumulado em 12 meses totalizou 495.829 GWh, o que significou uma elevação de 5,2% comparada ao período anterior. Todas as regiões geográficas do Brasil apresentaram expansão no consumo de energia elétrica em julho: Sul (+7,7%), Nordeste (+6,9%), Norte (+5,4%), Sudeste (+5,1%) e Centro-Oeste (+2,5%) [2].

A cada ano que passa existe a necessidade de expansão e diversificação da matriz energética em decorrência do aumento do consumo de energia e da necessidade de investir em fontes de geração com mínimos impactos ambientais. Devido a este aumento de consumo de energia elétrica nos últimos anos, o Brasil vem alcançando com dados expressivos nesta corrida energética. No que se refere a energia solar, o Brasil já tem 11 *gigawatts* de capacidade instalada. É evidente que parte desta produção de energia é fornecida através de grandes usinas. Estas têm compromissos de fornecer de maneira confiável e segura os valores contratados. Desse modo, a redução de perdas e a obtenção da máxima eficiência de geração é alguns dos diversos desafios que integradores deste setor tem enfrentado.

Ao se implantar um sistema solar fotovoltaico, seja de microgeração ou minigeração é requerido um alto investimento por parte do proprietário, sendo necessário diversas avaliações técnicas de profissionais qualificados, como estudos de área disponível, irradiação solar, grau de inclinação dos módulos, perfil de sombreamento, dentre outros critérios ambientais. Dessa forma, o processo de simulação computacional é um mecanismo que deve atender ao objetivo de verificar a confiabilidade de geração de um sistema fotovoltaico, podendo ser feita seguindo a configuração definida para o sistema fotovoltaico, com a posterior interação do projetista para avaliação dos resultados e ajustes necessários do modelo de simulação, permitindo assim, o ajuste progressivo das variáveis até que se obtenha a melhor representação de sistema [3].

Dentre as diversas características exigidas para aplicabilidade dos sistemas solares fotovoltaicos, a avaliação de desempenho é uma das mais importantes, pois valida os dados do sistema fotovoltaico que foi planejado. De acordo com a NBR 16274, esses dados são relevantes para investidores e operadores, sistema [4]. Em alguns casos é possível que o sistema não atenda as expectativas devido ao baixo desempenho do gerador solar fotovoltaico, ou seja, que não seja gerada a quantidade de energia que “prevista” ou prometida ao cliente durante a

etapa de negociação comercial, devido aos parâmetros terem sido dimensionados sem critérios técnicos adequados ou executados sem acompanhamento adequado devido as diretrizes do projeto executivo [5].

Dessa forma, neste trabalho é proposta uma análise comparativa dos critérios relativos ao desempenho obtidos em simulação computacional e resultados obtidos em ensaios experimentais de uma instalação solar fotovoltaica atualmente em funcionamento considerada como estudo de caso.

## **1.2 Justificativa**

O uso dos critérios comparativos para análise de desempenho é comum em usinas fotovoltaicas de grande porte e obrigatório no caso de empreendimentos que participam de leilões. No entanto, o conhecimento sobre dados solarimétricos, de simulação de projetos e de métodos de análise de geração ainda é pequeno por parte dos projetistas e pesquisadores.

Neste sentido, este trabalho tem o intuito de apresentar estas informações de forma a limitar o desconhecimento sobre importantes dados acerca de desempenho e projeto de sistemas fotovoltaicos, através de um estudo de caso que compara dados experimentais com dados projetados de um empreendimento fotovoltaico real.

## **1.3 Objetivo Geral**

Esse trabalho tem como objetivo geral, avaliar o desempenho de uma usina solar em operação e comparar com os dados de projeto da mesma, através dos dados solarimétricos apurados através de informações de monitoramento e dos resultados do software de projeção

## **1.4 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- Avaliar os critérios de desempenho de um sistema fotovoltaico através dos dados solarimétricos;
- Apresentar os procedimentos de simulação de um sistema fotovoltaico no software PVsyst;
- Caracterizar Estudo de Caso de uma “Usina solar fotovoltaica de Fortaleza - CE”;

- Apresentar os resultados de análise comparativa entre os dados gerados e dados de projeto do estudo de caso, para o período de operação do estudo de caso desde janeiro de 2021 a dezembro de 2021.

### **1.5 Estrutura do Texto**

Este trabalho é dividido em quatro capítulos, incluindo o capítulo introdutório. No segundo capítulo são apresentados um breve histórico e uma revisão bibliográfica sobre geração distribuída, energia solar fotovoltaica e avaliação de desempenho de sistemas solares fotovoltaicos afim de apresentar as características relevantes ao tema em estudo.

No capítulo três, são apresentadas as considerações sobre a simulação computacional de sistemas fotovoltaicos no software PVsyst, descrevendo os procedimentos adotados para projeto deste tipo de sistema de geração. Ainda neste capítulo, apresenta-se um detalhamento das características do estudo de caso de uma “Usina Fotovoltaica de Fortaleza - CE”, evidenciando-se as etapas de projeto e a memória de cálculo necessária para projetar esse sistema no PVsyst.

Os resultados comparativos e a análise matemática entre dados de simulação e dados após implantação da usina solar fotovoltaica, são apresentados no capítulo quatro, através da simulação feita no PVsyst e dados extraídos dos sensores solarimétricos instalados em campo, aplicando todos os conhecimentos descritos nos capítulos anteriores. Por fim, são apresentadas as principais conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Princípios da Energia Solar Fotovoltaica**

#### **2.1.1 Histórico**

Nos primórdios da história da energia solar fotovoltaica, partimos do princípio que esta provem do Sol e que não é um elemento renovável, mas uma fonte de energia inesgotável levando em consideração a escala de tempo da vida no planeta Terra. Dessa forma, tem-se que a energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para os desafios deste milênio [6]. Os principais marcos temporais relacionados a energia solar fotovoltaica são brevemente listados abaixo:

1800 - Empilhamento de discos de cobre e zinco [7];

1839 – Descoberta do efeito fotovoltaico [7];

1883 - As primeiras células são desenvolvidas essa podia ser usada com eficiência elétrica máxima de conversão de 1% [7];

1905 e 1922 - Albert Einstein, modernizou e melhorou os conceitos do efeito fotoelétrico [7];

1954 – Houve o desenvolvimento do processo de dopagem do silício, sendo no mesmo ano houve desenvolvimento das primeiras células solares de silício, tendo como criação da “célula solar moderna” [7];

1958 – Foram adaptados aos primeiros sistemas fotovoltaicos para residências [7];

1994 - O Laboratório Nacional de Energia Renovável, criou a primeira célula solar que superou em 30% a eficiência de conversão. Sendo que, em 1999 a capacidade fotovoltaica total instalada no mundo atingiu os 1.000 megawatts. Tendo um grande avanço muito grande de sistemas solares em países desenvolvidos [7];

Em 2012, houve a criação da Resolução Normativa nº 482, instituída pela Aneel em abril de 2012, que estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Portanto, a resolução permitiu a qualquer consumidor que gere sua própria energia renovável conectada à rede de distribuição, com possibilidade do acúmulo de créditos energéticos, autorizando, inclusive, os critérios necessários para a conexão à rede de sistemas de energia solar [17].

Em 2015, visando aprimorar a RN 482/2012, foi introduzida a Resolução Normativa 687/2015, que ampliou as oportunidades no mercado de energia. Sendo essa responsável por determinar novos limites para microgeração e minigeração, onde geradores com potência de

até 75 kW seriam considerados como microgeração de energia fotovoltaica, enquanto geradores acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW seriam considerados como minigeração [7]. Foi definido um prazo de resposta com distribuidoras de energia, sendo definido um prazo legal para distribuidora responder a solicitação de acesso de 60 dias, sendo que houve uma padronização na solicitação de acesso, orientando as distribuidoras a seguirem um padrão, sendo também responsável pela criação de novas modalidades de geração distribuída como: Autoconsumo Remoto, Geração Compartilhada, Empreendimentos com Múltiplas Unidades Consumidoras [17].

Entre 2018 e 2019, houve consultas públicas envolvendo diferentes segmentos da sociedade e ocorreram diversos debates sobre a proposta apresentada pela Aneel para a revisão da REN 482 2012. Como resultado do processo de debate à época, identificou-se a necessidade de assegurar ao mercado de micro e minigeração distribuída (MMGD) o seu estabelecimento via uma lei federal, ou seja, pela criação de um Marco Legal para a MMGD no Brasil, o que foi feito por meio do Projeto de Lei 5.829 2019. Sendo que, após a aprovação na Câmara dos Deputados, no Senado Federal, o Presidente da República sancionou o Projeto de Lei 5.829 2019, onde este institui o Marco Legal da MMGD por meio da Lei 14.300 2022 [21].

Com o Marco Legal, o Brasil fortalece e eleva o mercado de MMGD para uma posição mais estratégica na sua política nacional e fica um passo à frente em seu processo de transição energética, impulsionando a sustentabilidade, a competitividade e a inovação. Tendo as seguintes vantagens: Mais segurança jurídica e estabilidade regulatória. Preservação de investimentos realizados. Maior previsibilidade do retorno de investimentos futuros. Garantia do direito do consumidor de gerar sua própria energia e reduzir sua conta de luz. Reconhecimento da MMGD como estratégia para a política energética nacional [21].

### **2.1.2 Potencial da Energia Fotovoltaica no Brasil**

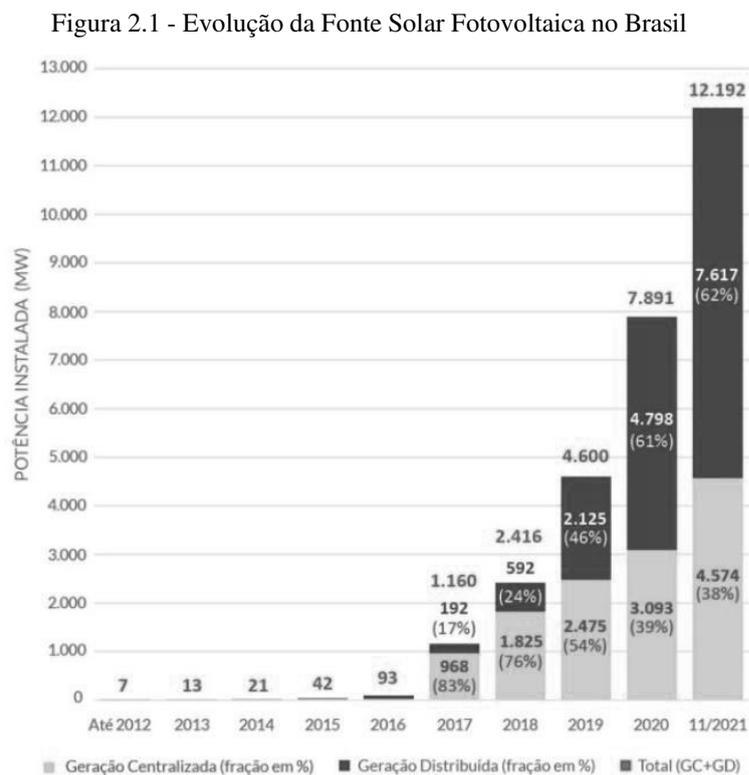
Em termos de energia solar fotovoltaica no Brasil, as projeções e o potencial de crescimento atingem expectativas muito otimistas para a economia do País. Essas tem deixado de ser somente conjecturas, como é observado no ranking dos países com maior potencial, levando em consideração a regulação, o Brasil hoje se coloca na sexta posição, por ter capacidade de receber investimentos para grandes e pequenos projetos no setor.

O Brasil possui um grande potencial para o aproveitamento desta fonte de energia, visto que os índices de radiação solar são elevados em relação aos países europeus. Os índices de radiação no Brasil estão em torno de 1500 KWh/m<sup>2</sup>/ano a 2200 KWh/m<sup>2</sup>/ano [12]. Fatores

que influenciam grande parte dos investidores, pois existe segurança e garantia não somente nas tecnologias de captação solar, mas também no ambiente.

A Câmara Americana de Comércio Brasil-Estados Unidos (AMCHAM) divulgou em 2019 dados significantes sobre este setor. O Brasil possui cerca de seis mil sistemas de painéis solares instalados em residências pelo País, que geram cerca de 70 MW. Uma capacidade suficiente para iluminar 30 mil casas por ano, em média [8].

Na Figura 2.1 é possível observar que os dados fornecidos pela ANEEL e ABSOLAR, demonstram que o desenvolvimento vem ocorrendo em passos largos, a cada ano que passa. Sendo que, existe um grande incentivo adotado pelo Brasil, através de linhas de créditos para financiamento de projetos e isenção de impostos. Demonstrando interesse em estratificar ainda mais a matriz de energia no país.



Fonte: Adaptado de [8].

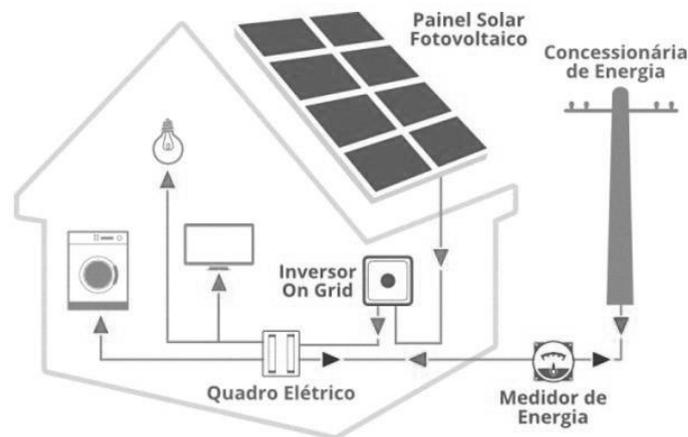
Uma das diversas formas de incentivo é a de tarifação adotada hoje no Brasil, em que o valor de energia excedente injetada a concessionária é o mesmo do recebido e a isenção de ICMS para consumidores com potência instalada de até 1 MW, fora o caso de MG que é até 5 MW. É importante destacar que a isenção do ICMS sobre a energia injetada melhora em até 30% o retorno financeiro do investimento na geração solar fotovoltaica, sendo importantíssima para o desenvolvimento do mercado.

## 2.2 Conceitos básicos sobre sistemas fotovoltaicos

A seguir são apresentados aspectos básicos sobre sistemas de geração de energia através de painéis solares fotovoltaicos, para o entendimento do estudo de caso apresentado neste trabalho. A composição básica de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica é apresentada pelos elementos abaixo [23], ilustrados pela Figura 2.2.

- a) Painel solar: conjunto de módulos fotovoltaicos;
- b) Sistema de montagem: estrutura de fixação do painel solar;
- c) Inversor: responsável por transformar a corrente contínua gerada pelo painel solar em corrente alternada, igual à da rede elétrica;
- d) Quadro elétrico: onde o inversor é conectado à rede elétrica interna do edifício. Nele também estão conectadas as cargas do consumidor, tais como iluminação e tomadas;
- e) Medidor de energia bidirecional: equipamento da concessionária de energia que mede a energia consumida pelo edifício e a energia gerada injetada na rede de distribuição.

Figura 2.2 - Componentes Básicos de Sistemas Fotovoltaicos



Fonte: O Autor.

O painel solar converte a radiação solar (ondas eletromagnéticas) em energia elétrica em corrente contínua através do efeito fotoelétrico. Seu desempenho é diretamente influenciado pelo nível de radiação solar, medido em  $W/m^2$ , e a temperatura de operação, em  $^{\circ}C$ . Quanto mais luz e mais frio, maior a potência que ele entrega, e quanto menos luz e mais quente, menor a potência que ele disponibiliza [23].

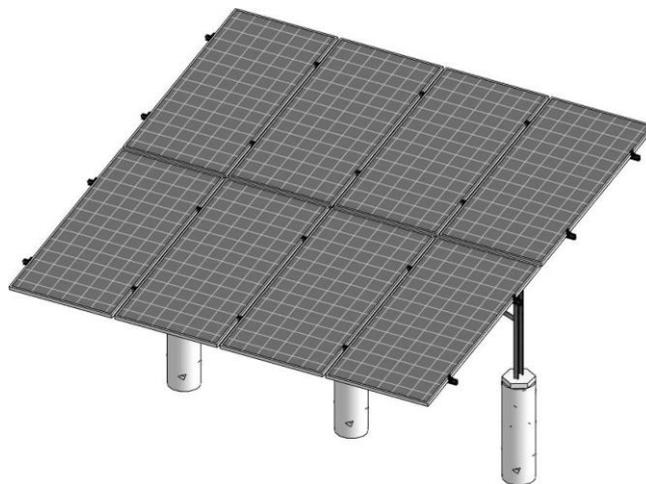
A estrutura de montagem é composta por colunas, perfis e acessórios, que podem ser feitos de alumínio, aço carbono galvanizado ou aço inoxidável. Sua função é fixar os módulos fotovoltaicos de forma segura no telhado, no solo ou mesmo na fachada de um edifício. O painel solar gera energia em corrente contínua, a qual não é compatível com a rede elétrica. O inversor é o equipamento que converte a energia proveniente do painel solar em corrente alternada e a injeta na rede elétrica do local. A saída do inversor é conectada ao quadro elétrico geral do edifício, em que estão conectadas as cargas do local através dos seus respectivos disjuntores, tais como iluminação e tomadas.

A interface entre a UC e a rede da distribuidora ocorre no Padrão de Entrada. Trata-se de um conjunto de dispositivos de medição e proteção, padronizados e de propriedade da concessionária [24]. O medidor de energia bidirecional que fica no padrão de entrada, mede a energia consumida pela UC e a energia injetada na rede pelo sistema fotovoltaico.

### 2.2.1 Painéis Fotovoltaicos

Módulos fotovoltaicos são construídos a partir de diferentes tecnologias [25], e em diferentes configurações, podendo as células estarem conectadas em série, em paralelo ou de forma mista. Tecnologias bastante utilizadas para a construção de painéis fotovoltaicos são baseadas em silício, tendo bastante aplicabilidade os painéis de silício Monocristalino e policristalino [25]. Conforme observado na Figura 2.3, um painel fotovoltaico, para fornecer uma determinada potência nominal, é formado de uma associação de painéis que pode ser série, paralela ou mista. Dessa forma, pode-se existir diferentes valores de tensão, corrente e potência em determinados painéis fotovoltaicos.

Figura 2.3 - Conjunto de Painéis fotovoltaicos



Fonte: O Autor.

Os valores de corrente, tensão e potência de um módulo fotovoltaico pode ser determinado através de:

$$I_{cc.módulo} = I_{cc.célula} \times N_{células \text{ em paralelo}}, \quad (2.1)$$

$$V_{co.módulo} = V_{co.célula} \times N_{células \text{ em série}}, \quad (2.2)$$

e

$$P_{máxima \text{ módulo}} = N_{célula \text{ em paralelo}} \times N_{células \text{ em série}} \quad (2.3)$$

Em que,  $I_{cc}$  É a intensidade de corrente de curto circuito (A);  $N$  é o número de células;  $V_{co}$  é a tensão de circuito aberto (V);  $P_{máxima \text{ módulo}}$  é a potência (Wp);  $N_{células \text{ em paralelo}}$  é o número de células com ligação em paralelo no módulo;  $N_{células \text{ em série}}$  é o número de células com ligação em série no módulo;  $P_{célula}$  é a potência das células do módulo;  $P_{célula}$  é a potência das células do módulo;

Sendo que, as células ao serem conectadas em série ou em paralelo, estas são encapsuladas com a finalidade de serem isoladas do ambiente exterior e protegidas das intempéries, além de conferir rigidez ao painel. A potência do painel, resultante da associação de módulos fotovoltaicos, é descrita em Watt pico (Wp) e a potência do sistema fotovoltaico comumente descrita em quilowatt pico (kWp).

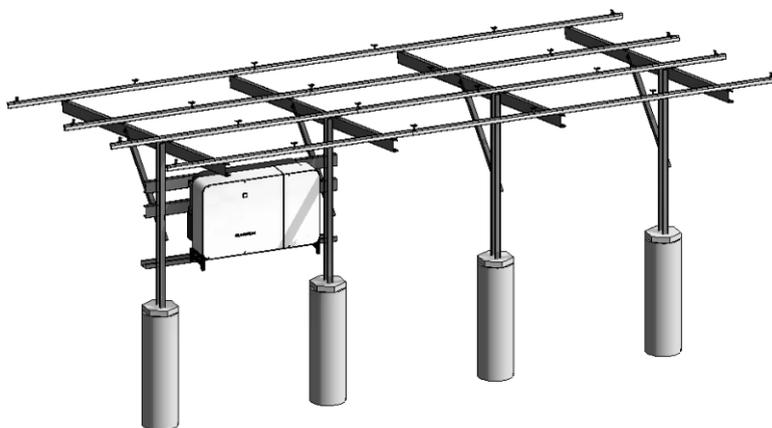
### 2.2.2 Inversores

Na figura 2.4, é possível observar uma ilustração que inclui o inversor, que realiza a conversão de energia em CC para energia em CA, que pode ser distribuída, utilizada ou armazenada. Este componente juntamente com os módulos são os mais importantes de um sistema fotovoltaico. Quando conectados à rede da concessionária de energia, o sistema de conversão CC/CA em sua grande maioria apresenta, além do inversor, os seguintes componentes [23]:

- ✓ Sincronizador, este realiza o sincronismo da tensão sintetizada pelo conversor com a tensão da rede da concessionária de energia elétrica;
- ✓ Transformador de Isolamento, este realiza o isolamento galvânico entre a saída conversor CC/CA;
- ✓ Controlador, este é responsável por processar as informações de controle, configuração e referências para a proteção;

- ✓ Comunicação, este transmite informações relacionadas à operação do sistema para redes de dados.

Figura 2.4 - Estrutura Metálica e Inversor



Fonte: O Autor.

A potência durante a operação de um sistema fotovoltaico dificilmente alcança sua potência nominal, pois a condição para que isso ocorra é de que todas as células dos módulos que compõem o sistema estejam recebendo, ao mesmo tempo, a máxima radiação, ou seja, da ordem de  $1000 \text{ W/m}^2$  [26]. Devido a essa condição, os fabricantes recomendam um fator de dimensionamento do inversor de 75% a 85% da potência nominal dos módulos. Sendo possível calcular o número máximo de módulos por inversor a partir de [26]:

$$N^{\circ}_{modtotal} = \frac{P_{inm\acute{a}x}}{P_{m\acute{a}x}} \quad (2.3)$$

Em que:

$P_{inm\acute{a}x}$  → Potência Nominal Máxima do Inversor (VA);

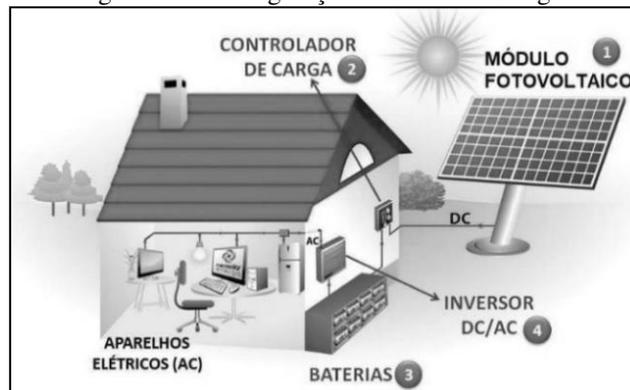
$P_{m\acute{a}x}$  → Potência Nominal Máxima do Módulo (Wp);

### 2.3 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Através de sistemas fotovoltaicos, consumidores residenciais, comerciais e industriais, usufruem de uma energia sustentável e renovável. Essa forma de energia, juntamente com outras formas secundárias são uma das tecnologias mais importantes para o desenvolvimento de um planeta sustentável. Desse modo, sua utilização é de extremo interesse para organizações que visam um mundo equilibrado, ecologicamente correto e que não agrida a natureza. Existem atualmente os seguintes tipos de sistemas: off-grid, on-grid híbrido [13].

- 1) **Off-grid** é um sistema não conectado à rede de distribuição de energia elétrica da concessionária regional, que pode ser nomeado como rede autônoma. Sendo que, esse tipo de sistema como apresentado na Figura 2.5 pode atuar através captação da energia solar e armazenagem desta energia em baterias quando a geração de energia oriunda do sol não for suficiente para compensar a parcela de consumo da unidade. Haja vista que, grande parte desses consumidores são aqueles que se encontram distantes do atendimento da concessionária.

Figura 2.5 - Configuração de Sistemas Off-grid



Fonte: Adaptado de [13]

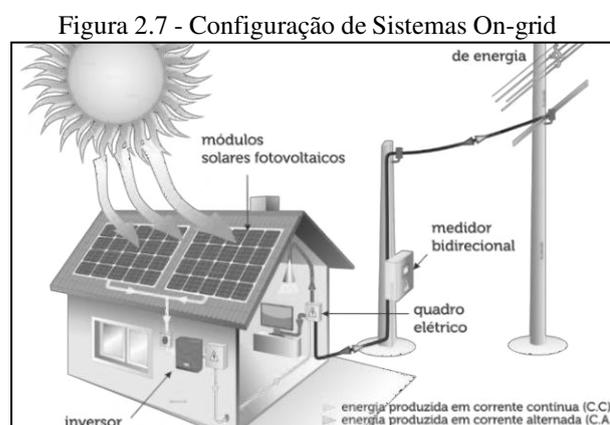
- 2) **Híbrido** é um sistema fotovoltaico que vem ganhando espaço em termos de aplicabilidade. Nessa topologia de sistema fotovoltaico quando existe excedente de geração, pode-se armazenar o excedente de energia gerado em bancos de baterias (ver Na Figura 2.6). Sistemas híbridos assumem um grande investimento, sendo que, as baterias servem para reduzir as interrupções momentâneas provenientes da geração renovável ou por falha da rede da concessionária de energia.

Figura 2.6 - Configuração de Sistemas Híbridos



Fonte: Adaptado de [13]

- 3) **On-grid** tem sua composição apresentada na Figura 2.7, nessa configuração observa-se a associação de inversor interativo, entre os módulos e a rede de distribuição, sendo que, tal composição é mais usual entre os consumidores de energia solar. Neste formato, o sistema capta energia solar e injeta na rede e tudo aquilo que é excedente do consumo da unidade é compensado na fatura no final do ciclo de faturamento do consumidor. Sendo que, de maneira mais clara, essa geração de energia não é destinada a carga da unidade consumidora de maneira específica, está abastecendo toda a estrutura da unidade. Quando a geração do sistema fotovoltaico é superior à demanda, o sistema injeta a energia para a rede de distribuição. O monitoramento desse processo é feito pelo medidor bidirecional.



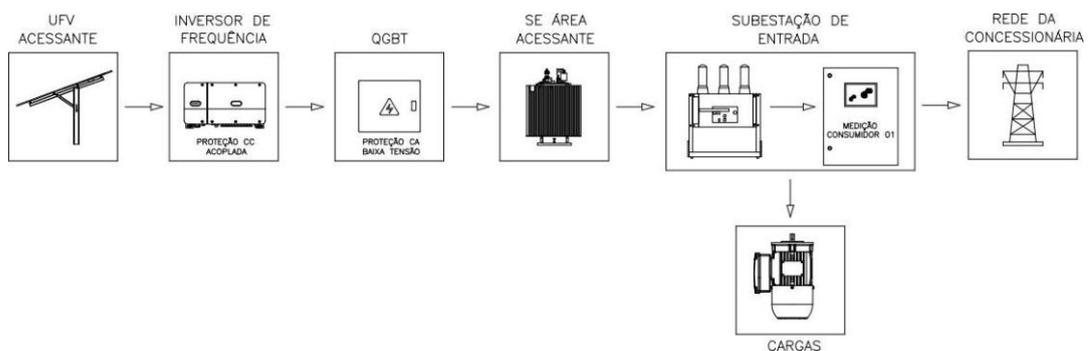
## 2.4 Usinas Fotovoltaicas Conectadas a Rede

Os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados nos mais diversos locais, atendendo a consumidores de energia de todos os tipos, como residenciais, comerciais, indústrias, dentre outros. Também é muito comum que essas instalações sejam feitas em cima dos telhados desses consumidores, podendo ainda serem vistas em fachadas de prédios, estacionamentos e estruturas específicas para instalação de módulos fotovoltaicos, instaladas também diretamente no solo ou flutuantes instalados sobre a água [9].

As grandes usinas fotovoltaicas consistem, em sistemas fotovoltaicos de grandes dimensões, projetados para a produção e comercialização de energia elétrica, sendo que essas são capazes de gerar energia em grande escala de forma centralizada. Tendo como principal característica a grande quantidade de módulos dispostos ao sol e um valor de investimento muito alto. Esses grandes empreendimentos funcionam de maneira semelhante aos sistemas residenciais, captando energia solar, convertendo em energia elétrica e injetando na rede de distribuição da concessionária.

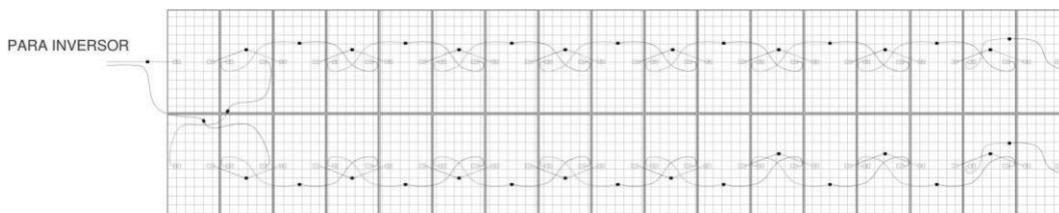
Para que se permita a obtenção de um modelo de uma simulação da usina solar e avaliação de desempenho desta é necessário conhecer a topologia básica de um sistema fotovoltaico, cujas principais características, componentes e tipos foram apresentadas na seção 2.2 e 2.3 deste trabalho. Na Figura 2.8 é mostrada a topologia básica de um sistema fotovoltaico de uma UFV conectado à rede. Na Figura 2.9 é apresentada a representação de uma associação de painéis para utilização de usinas fotovoltaicas, neste caso, tais associações são definidas como *Strings* em *leap-frog*, esse modo de conexão, ilustrado na Figura 2.9, permite reduzir o custo com cabos elétricos e melhora a imunidade do circuito contra indução eletromagnética, pois essa configuração sujeita os cabos a estarem sempre juntos, tornando mais fácil reduzir as áreas de laços dos circuitos, dessa forma reduzindo as áreas de laços dos circuitos, o que torna a instalação fotovoltaica menos suscetível a surtos eletromagnéticos [22].

Figura 2.8 - Topologia Básica de uma UFV de Grande Porte Conectado à Rede



Fonte: O Autor

Figura 2.9 - Configuração de *Strings* em *leap-frog* de UFV



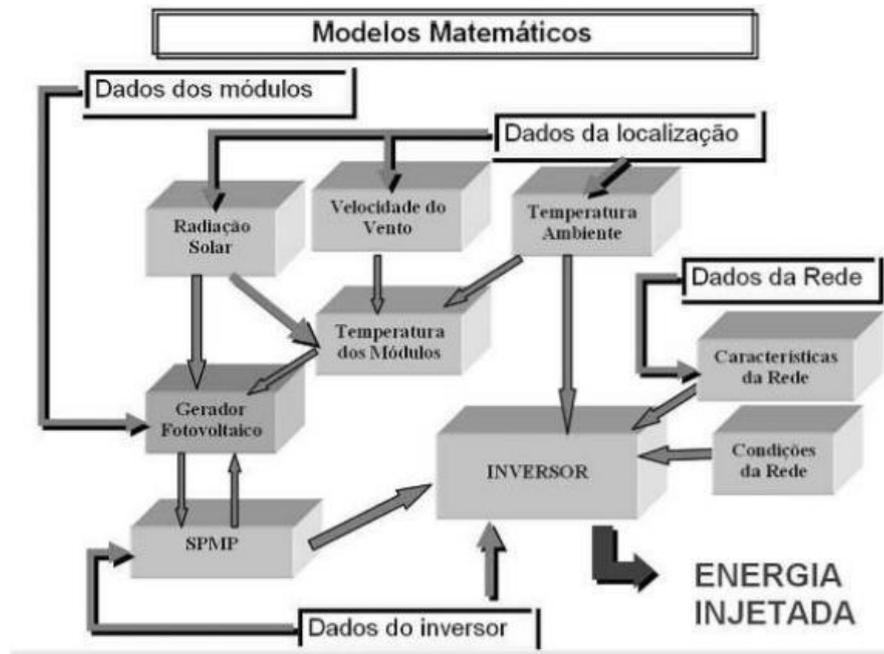
Fonte: O Autor

## 2.5 Componentes de Simulação e de Avaliação de Desempenho para Sistemas Fotovoltaicos

Um software pode ser uma importante ferramenta de auxílio para avaliação, caracterização e análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede permitindo a simulação de sistemas que inclusive ainda não existam [14]. A seguir são descritos os modelos matemáticos indispensáveis para a simulação de um sistema fotovoltaico, sendo que, softwares de

dimensionamento fotovoltaicos seguem o diagrama de blocos de fluxo de simulação mostrado na Figura 2.

Figura 2.10 - Diagrama de Blocos do Fluxo de Simulação



Fonte: Adaptado de [14]

A simulação computacional permite realizar testes de situações próximas ao real em ambiente virtual, possibilitando variar cenários e analisar os resultados obtidos [27]. A simulação é utilizada para modelar sistemas ou processos, visando ao apoio na tomada de decisão. Em virtude da crescente utilização estes processos tem permitido o avanço de bons resultados na solução de problemas, redução de custos, otimização e dimensionamento adequado de recursos, aumento de desempenho, entre outros, nos diversos segmentos onde é aplicada.

Quando bem utilizadas, as ferramentas de simulação computacional para sistemas fotovoltaicos podem gerar resultados significativos que nortearão a implementação desse tipo de sistema [27]. Destacam ainda que os *softwares* relacionados a projetos de sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados para:

- a) Análise de viabilidade técnica e econômica do projeto.
- b) Dimensionamento dos componentes, configuração, orientação dos módulos, entre outras funções.
- c) Simulação da operação observando as variações sazonais

- d) Determinação da melhor localização para instalação do sistema, evitando perdas com interferências e sombreamentos, entre outras aplicações.

Dentre os *softwares* existentes no mercado [27], o *software* de simulação PVsyst é uma ferramenta computacional com funcionalidades que incluem o estudo, dimensionamento, simulação e análise dos dados obtidos para sistemas fotovoltaicos. Tendo um extenso banco de dados de componentes de sistemas, dados climáticos e ferramentas em geral.

No enfoque principal do trabalho, no que diz respeito aos parâmetros comparativos o estudo de caso em questão dedica-se em demonstrar índices como Yield (Produtividade do SFV) e PR (Taxa de Desempenho).

### 2.5.1 Índice de Produtividade (Yield)

A produtividade (Yield) é a relação entre a energia gerada em kWh e a potência nominal do sistema instalada em kWp. A produtividade é parâmetro muito utilizado, pois permite comparar sistemas FV instalados em locais e/ou orientações diferentes e avalia o desempenho da geração de energia elétrica levando em relação a potência real do sistema sob condições de operação. O índice Yield pode ser expresso por:

$$Yield = \frac{E_{FV}}{P_{FV}} \quad (2.4)$$

Em que:

$Yield$  → Produtividade do SFV [kWh/(kWp.mês) ou kWh/(kWp.ano)]

$E_{FV}$  → Energia total gerada pelo SF no período considerado [kWh/mês ou kWh/ano]

$P_{FV}$  → Potência nominal instalada do SFV em C.C. [kWp]

### 2.5.2 Performance Ratio (PR)

A taxa de desempenho *Performance Ratio* (PR) é um indicador aceito globalmente para analisar o desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Diversos autores vêm utilizando a PR para avaliar o desempenho de sistemas fotovoltaicos e com isso o desempenho de sistemas fotovoltaicos tem aumentado continuamente, corrigindo falhas do sistema e, assim, possibilitando melhores decisões de investimento [15]. Para usinas de grande porte esse parâmetro é essencial para as condições de projeto executado em relação ao simulado. Diante de tal importância, é possível calcular a taxa de desempenho, através de:

$$PR_x = \frac{\frac{E_x}{G_{POA}}}{I_{rrCPT} P_{FV}} \quad (2.5)$$

Em que:

$PR_x$  → Taxa de desempenho do SFV analisado, para o período considerado (mensal ou anual);

$E_x$  → Energia FV gerada do SFV analisado, no período considerado [kWh/mês ou kWh/ano];

$G_{POA}$  → Irradiação solar no plano dos módulos para o período considerado [kWh/m<sup>2</sup>/mês ou kWh/m<sup>2</sup>/ano];

$I_{rrCPT}$  → Irradiância solar nas CPT = 1 kW/m<sup>2</sup>;

$CPT$  → Condições Padrão de Teste;

$P_{FV}$  → Potência nominal instalada do SFV [kWp];

A seguir serão apresentadas as principais características dos equipamentos necessários para monitoramento da operação de um sistema fotovoltaico. Os equipamentos aqui descritos fazem parte de uma estação solarimétrica e são sensores solarimétricos dos seguintes tipos: pirômetro, termômetro, anemômetro e *datalogger*;

### 2.5.3 Sensores Solarimétricos

Com o crescente desenvolvimento da energia solar, os critérios de aprovação e fiscalização de novos projetos estão cada vez mais rigorosos, isto é, no estudo de caso em questão fora exigido no escopo do edital do processo licitatório, que a empresa habilitada a execução do serviço fizesse a instalação desses sensores.

Os dados utilizados em pesquisas climáticas e estudos são decorrentes de medições. As medições são feitas *in loco* que servem como base para simulações, bem como para acompanhamento de geração de energia de sistemas instalados. Na Figura 2.11, observa-se os sensores que compõem a estação solarimétrica. Sensores deste tipo estão presentes na estação do estudo de caso a ser considerado neste estudo comparativo e foram utilizadas como base de dados, não sofrendo influência de sombreamentos, enquanto a UFV em alguns instantes do dia está sendo sombreado.

Figura 2.11 - Sensores Solarimétricos



Fonte: O Autor.

Através de estações solarimétricas parâmetros para avaliação da geração produzida pela UFV podem ser obtidos através das diferentes medições realizadas. Uma vez que, esses dados podem ser monitorados em tempo real e de maneira remota através do software do fabricante dos inversores, disponibilizando tensões, correntes, potências e geração de energia, além de indicar outras variáveis como temperatura, vento e irradiação através de sensores conforme os capítulos a seguir. Todas as informações ficam disponíveis na mesma plataforma através do dispositivo *Ez-logger* (ver na Figura 2.12), que faz a interação desses sensores com o sistema de monitoramento.

Figura 2.12 - EZ-LOGGER



Fonte: O Autor.

O quadro de montagem em que se encontra instalado o *Ez-logger* fica bem próximo aos sensores solarimétricos devido a limitação da extensão dos cabos de comunicação entre dispositivos. O dispositivo possui alimentação elétrica de 110-220V monofásico, sendo que também possui uma comunicação via ethernet e via rede de dados.

### 2.5.3.1 Piranômetro

O piranômetro utilizado mede a irradiância total. Isto é, dependendo de sua configuração e posicionamento pode medir irradiância refletida pelo solo. Contudo, este equipamento é usado para medir irradiância solar global em uma superfície horizontal.

Os Piranômetros normalmente usam sensores termoelétricos, fotoelétricos, piroelétricos e elementos bimetálicos, tendo seus parâmetros descritos na Tabela 2.1. Dessa forma, tais equipamentos resistem aos efeitos corrosivos e são hermeticamente fechados, pois devem ser expostos a todas condições climáticas da região onde for instalado [16]. Sendo que, o instrumento em questão deve ser instalado segundo as orientações do fabricante, estando em condições perfeitas para uso como observado na Figura 2.13. Tal dispositivo, obedece a equação matemática entre os dados de entrada e os dados de saída do equipamento é encontrado através de:

$$I_{rr} = \frac{mV}{K} \quad (2.6)$$

Em que:

$I_{rr} \rightarrow$  Irradiância;

$K \rightarrow$  A constante de calibração do piranômetro.

Figura 2.13 – Piranômetro utilizado na Usina IFCE-FORTALEZA



Fonte: O Autor.

Tabela 2.1 – Parâmetros Técnicos do Piranômetro

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
<b>Faixa Espectral</b>	0,3~3 $\mu\text{m}$
<b>Faixa de Medição</b>	0~2000 $\text{W/m}^2$
<b>Precisão I</b>	$\pm 5\%$ , 0~1500 $\text{W/m}^2$
<b>Precisão II</b>	$\pm 10\%$ , 1500~2000 $\text{W/m}^2$
<b>Taxa de Resolução</b>	1 $\text{W/m}^2$
<b>Fonte de Energia</b>	DC 12 V
<b>Tipo de Comunicação</b>	RS485
<b>Comprimento da Linha do Instrumento</b>	2,5 m
<b>Capacidade de Carga</b>	Corrente do Tipo RL $\leq 250 \Omega$ Tensão do Tipo RL $\geq 1 \text{K}\Omega$
<b>Tempo de Resposta</b>	< 45 s
<b>Características de Temperatura</b>	< $\pm 0,08\% \text{ } ^\circ\text{C}$
<b>Ângulo de Resposta</b>	< $\pm 10\%$
<b>Não-linear</b>	< $\pm 2\%$
<b>Gradiente Anual</b>	< $\pm 2\%$
<b>Ambiente de Trabalho</b>	Temperatura: $-50 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 85 \text{ } ^\circ\text{C}$ Umidade: $\leq 100\% \text{ RH}$
<b>Peso</b>	420 g

Fonte: Layout modificado pelo autor, Manual de Instalação de [32]

### 2.5.3.2 Anemômetro

Os parâmetros técnicos do anemômetro considerado neste estudo são descritos na Tabela 2.2. A velocidade do vento interfere diretamente na redução da temperatura do módulo fotovoltaico, melhorando sua eficiência do sistema solar, conseqüentemente interferindo diretamente no comportamento da geração de energia do sistema. Este dispositivo deve ser instalado segundo as orientações do fabricante, estando em condições perfeitas para uso como observado na Figura 2.14. Tal dispositivo, deve obedecer a equação matemática entre os dados de entrada e os dados de saída do equipamento é encontrado através de:

$$V_{vento} = \frac{(C_p \times 60)}{\frac{T}{1000}} \quad (2.4)$$

$T \rightarrow$  Período de Tempo

$C_p \rightarrow$  Contador de Pulsos Gerado a cada volta durante um  $T$

Figura 2.14 - Anemômetro utilizado na Usina IFCE-FORTALEZA



Fonte: O Autor.

Tabela 2.2 - Parâmetros Técnicos do Anemômetro

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
<b>Faixa de Medição</b>	0~45 m/s
<b>Precisão</b>	$\pm (0,3+0,03 V)$ m/s
<b>Taxa de Resolução</b>	0,1 m/s
<b>Velocidade do Vento de Partida</b>	$\leq 0,5$ m/s
<b>Fonte de Energia</b>	DC 12 V
<b>Tipo de Comunicação</b>	RS485
<b>Comprimento da Linha do Instrumento</b>	2,5 m
<b>Capacidade de Carga</b>	Corrente do Tipo RL $\leq 600 \Omega$ Tensão do Tipo RL $\geq 1 K\Omega$
<b>Ambiente de Trabalho</b>	Temperatura: $-40 \text{ }^\circ\text{C} \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ Umidade: $\leq 100\%$ RH
<b>Nível de Proteção</b>	IP45
<b>Tensão de Isolamento</b>	300 V para nível de temperatura de $80 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Peso</b>	130 g
<b>Consumo de energia</b>	50 mW

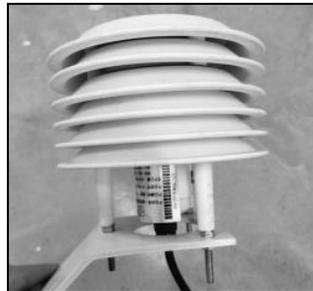
Fonte: Layout modificado pelo autor, Manual de Instalação de [32]

### 2.5.3.3 Termômetros

O modelo de termômetro considerado neste estudo mede temperatura ambiente e temperatura do módulo fotovoltaico, tendo parâmetros técnicos descritos na Tabela 2.3. Dessa forma, a temperatura é uma grandeza física que interfere diretamente na eficiência do módulo fotovoltaico, podendo prejudicar a eficiência do sistema de geração solar fotovoltaico.

Estima-se que 0,5% de eficiência do módulo fotovoltaico é reduzida com o aumento de 1 °C em sua temperatura [17]. Observa-se na Figura 2.15, o Termômetro utilizado para medição de temperatura ambiente, dispositivo devidamente instalado segundo as orientações do fabricante e estando em condições perfeitas para uso.

Figura 2.15 - Termômetro Ambiente utilizado na Usina IFCE-FORTALEZA



Fonte:Autor.

Tabela 2.3 - Parâmetros Técnicos do Termômetro Ambiente

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
<b>Faixa de Medição</b>	-50~100 °C
<b>Precisão</b>	±5% °C
<b>Taxa de Resolução</b>	0,1 °C
<b>Fonte de Energia</b>	DC 12 V
<b>Tipo de Comunicação</b>	RS485
<b>Capacidade de Carga</b>	Corrente do Tipo RL ≤ 300 Ω Tensão do Tipo RL ≥ 1 KΩ
<b>Ambiente de Trabalho</b>	Temperatura: -50 °C ~ 85 °C Umidade: ≤ 100% RH
<b>Peso</b>	420 g

Fonte: Layout modificado pelo autor, Manual de Instalação de [32]

O instrumento observado na Figura 2.16, trata-se do termômetro utilizado para medir a temperatura do módulo fotovoltaico, este é fixado nas “costas” de um painel fotovoltaico de uma *string* de um dos arranjos da UFV. Isto é, atrás de uma das células da porção central do

módulo. Este equipamento é instalado para avaliar a temperatura da célula do módulo e seu comportamento elétrico, tendo parâmetros técnicos calibrados sendo descritos na Tabela 2.4.

Figura 2.16 - Termômetro Instalado junto ao Módulo Fotovoltaico



Fonte: O Autor.

Tabela 2.4 - Parâmetros Técnicos do Termômetro instalado junto ao Módulo Fotovoltaico

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
<b>Faixa de Medição</b>	-50~100 °C
<b>Precisão</b>	0,1 °C
<b>Taxa de Resolução</b>	±5%, 0~1500 W/m <sup>2</sup>
<b>Fonte de Energia</b>	DC 12 V
<b>Tipo de Comunicação</b>	RS485
<b>Comprimento da Linha do Instrumento</b>	5 m
<b>Capacidade de Carga</b>	Corrente do Tipo RL ≤ 250 Ω Tensão do Tipo RL ≥ 1 KΩ
<b>Ambiente de Trabalho</b>	Temperatura: -50 °C ~ 80 °C Umidade: ≤ 100% RH
<b>Peso</b>	125 g
<b>Consumo de energia</b>	0,24 mW

Fonte: Layout modificado pelo autor, Manual de Instalação de [32]

### 3 SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO SOFTWARE PVsyst

Existem uma grande diversidade de programas para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Tais softwares são essenciais para o planejamento, dimensionamento e desenvolvimento de sistemas solares. *Softwares* como *PV\*SOL*, *Homer*, *Heliscope* e *PVsyst* incluem bases de dados atualizadas, especificações detalhadas de inversores e módulos fotovoltaicos, dados solariométricos.

A seguir serão descritas as condições para dimensionado de um sistema fotovoltaico de grande porte (Usina Fotovoltaica - UFV) no software PVsyst. Para isso, serão consideradas as especificações nominais do sistema a ser dimensionado bom base no perfil de radiação esperado para a região em que se deseja implantar a UFV. As principais etapas de dimensionamento de uma UF serão apresentadas neste capítulo.

#### 3.1 PVsyst

O software foi criado pelo Grupo de Energia do Instituto de Ciências do Meio Ambiente da Universidade de Genebra, tendo como líder de desenvolvimento o Dr. André Mermoud. Todos os direitos são da Universidade de Genebra, pois todo recurso financeiro veio dos cofres de pesquisas federais da Suíça. Atualmente o desenvolvimento e distribuição são feitos pela PVsyst S.A [28].

O objetivo do uso desta ferramenta, é alinhar com a simulação e modelagem 3D, a fim de obter resultados mais precisos em projetos de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída ou centralizada. Ao utilizar o software em questão é possível definir todos os parâmetros de projeto como orientação, inclinação, módulos, inversores, MPPTs, incluindo análise de sombreamento por meio da modelagem tridimensional da UFV [29].

#### 3.2 Configurações Iniciais e simulação de um projeto de UFV

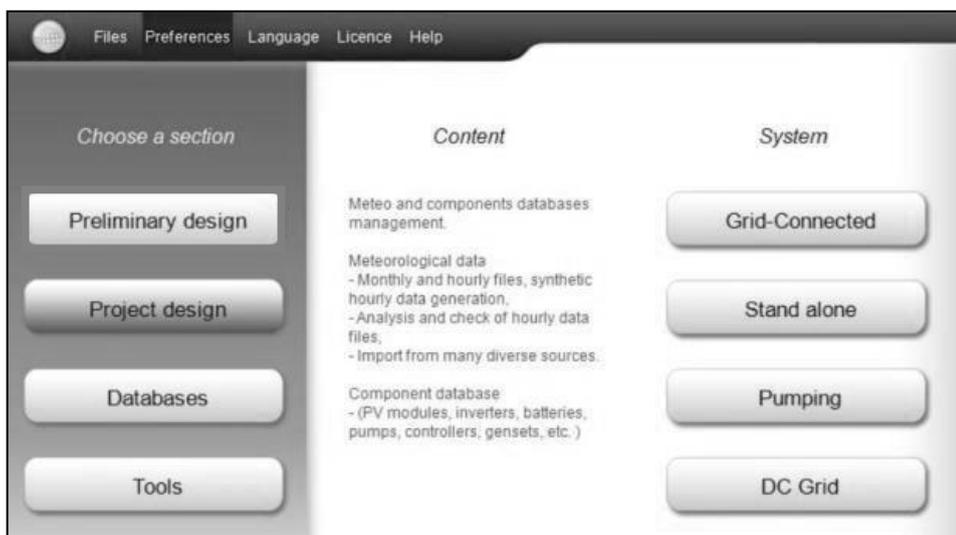
O *software* gera o resultado de uma etapa de pré-dimensionamento na opção “*preliminary design*”, conforme mostrado na Figura 3.1, fazendo-se meramente uma análise básica e sintética do sistema que se deseja projetar.

Com base nos aspectos técnicos coletados de local de instalação da UFV, consumo anual de energia do cliente e região geográfica disponível, o aplicativo retorna, de forma concisa, o percentual de energia perdida devido ao posicionamento dos painéis FV e do material a ser utilizado.

Além disso, o PVsyst realiza uma avaliação econômica simples, retornando o total de investimento e o custo da energia gerada, desprezando impostos e taxas. Para fins de maior

precisão, pode-se optar pela etapa denominada como “*project design*”, cuja tela é ilustrada na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Tela Inicial PVsyst



Fonte: Adapata.do de [28].

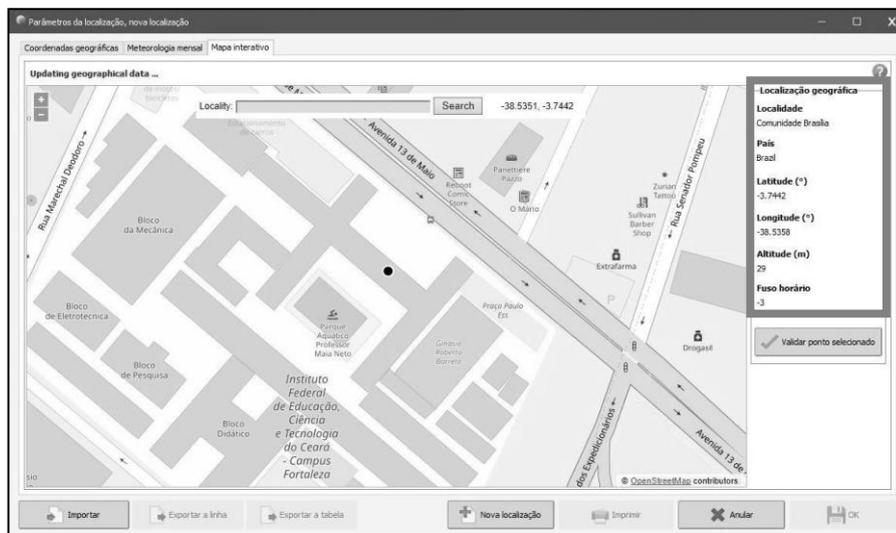
Após a etapa de otimização (*project design*) dos dados iniciais do projeto da UFV, existem ainda as etapas de criação do banco de dados solarimétricos; definição da orientação do sistema fotovoltaicos; definição das perdas e a definição dos detalhes técnicos.

### 3.2.1 Criação do Banco de dados solarimétricos

A construção do projeto fotovoltaico, a partir da definição do banco de dados solarimétricos para o local da instalação que está definida. Dessa forma, nesta aba são obtidas através das coordenadas de latitude e longitude a partir do Google Maps. A posição geográfica da UFV é inserida no PVsyst.

Na Figura 3.2, mostra-se o resultado da localização geográfica, a cidade de Fortaleza, o estado Ceará e o país Brasil, com as seguintes coordenadas geográficas de fuso horário em UTC-3, com latitude de -3.74 °S, longitude -38,54 °W, e altitude de 36 metros.

Figura 3.2 - Definição da Localização do Banco de Dados Solarimétricos



Fonte: Adapata.do de [28].

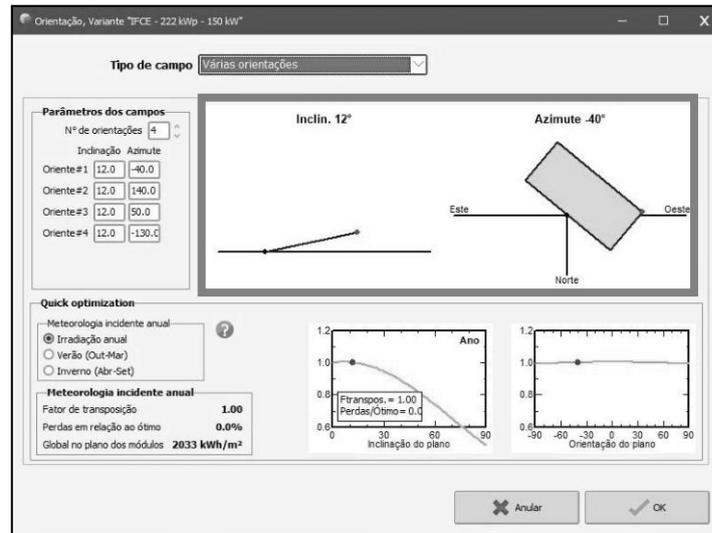
Os dados meteorológicos são importados do banco de dados Meteonorm 7.3, sendo esta uma base temporal horária. Dessa forma, quando esse banco de dados é importado diretamente pela interface do PVsyst, este banco de dados horários sintéticos é criado automaticamente. Além da plataforma de simulação fornecer essa opção de importação de dados, também oferece a utilização de dados provenientes de medição de estações e dados do banco de dados solarimétricos desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas (INPE).

Para o desenvolvimento de propostas de sistemas fotovoltaicos, é necessária uma boa análise preliminar, isto é, utiliza-se dados opções de fontes de dados adequadas e atualizadas, para condições da localidade específica da UC. Nesta etapa é possível observar na Figura 3.2, o ângulo de inclinação e o sentido que o painel FV, sendo configurado com desvio azimutal de até 4 pontos e mais importante no projeto em questão foi a projeção em várias orientações.

### 3.2.2 Definição da orientação do sistema fotovoltaico

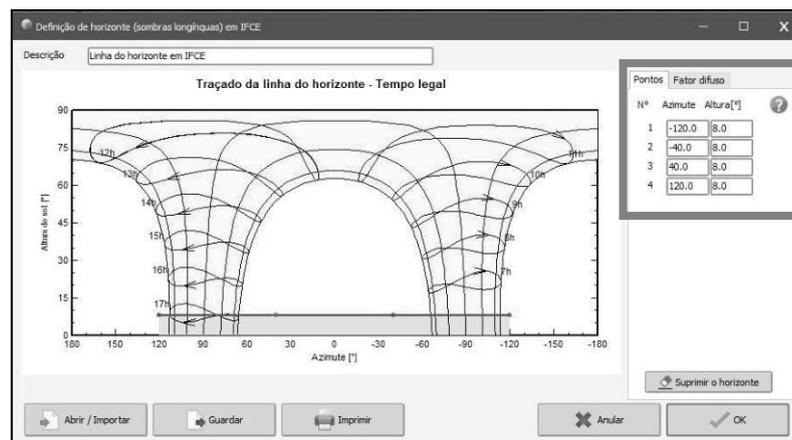
O *software* apresenta a razão da parcela de irradiação solar incidente no módulo e a incidente na horizontal. Essa grandeza indica o ganho ou a perda quando o módulo se encontra inclinado no ângulo inserido. Sendo que, como é visto no layout do projeto, este tem diversas orientações. Sendo que, na Figura 3.3 é definida a referente à linha do horizonte de objetos distantes como cadeias de montanhas.

Figura 3.2 - Definição da Orientação do Sistema



Fonte: Adapata.do de [28].

Figura 3.3 - Definição de horizonte



Fonte: Adapata.do de [28].

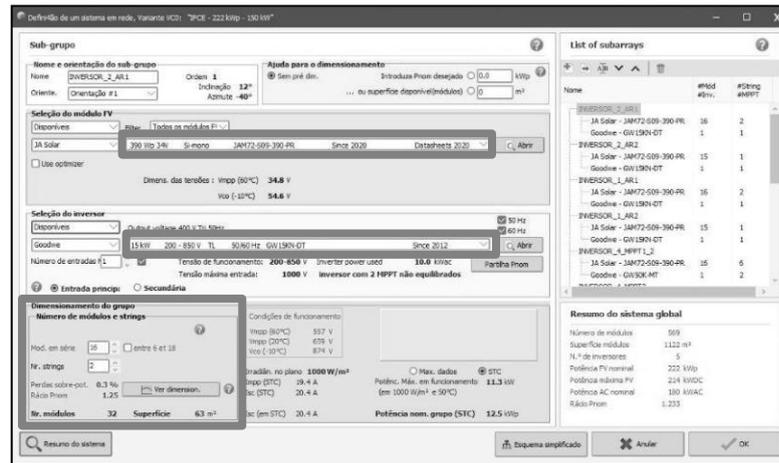
O banco de dados do *software* é rico em diversidade. Dessa forma, é possível encontrar o modelo desejado para simular o dimensionamento. Entretanto, o usuário é livre para contribuir com novos modelos, tanto de módulos FV como de inversores, sendo necessário apenas possuir os parâmetros técnicos necessários [30].

### 3.2.3 Definição de detalhes técnicos da UFV

Na Figura 3.4, pode-se observar o dimensionamento do sistema (da UFV), apresentando sua composição de 569 módulos de 390  $W_p$ , 02 inversores de 15  $kW$  e 03 inversores de 50  $kW$ , com aproximadamente 222  $kW_p$  de sistema solar fotovoltaico instalado.

À medida que ocorre uma mudança na configuração, o programa notifica o estado do dimensionamento, isto é, se está de acordo com as especificações elétricas dos equipamentos. O dimensionamento resultante apresenta o FDI de cada *sub-array*, avisando quando o inversor está sub ou sobre dimensionado e essa faixa pode ser ajustada de acordo com os valores que o responsável julgar conveniente.

Figura 3.4 - Definição dos Detalhes Técnicos e Dimensionamento do Sistema

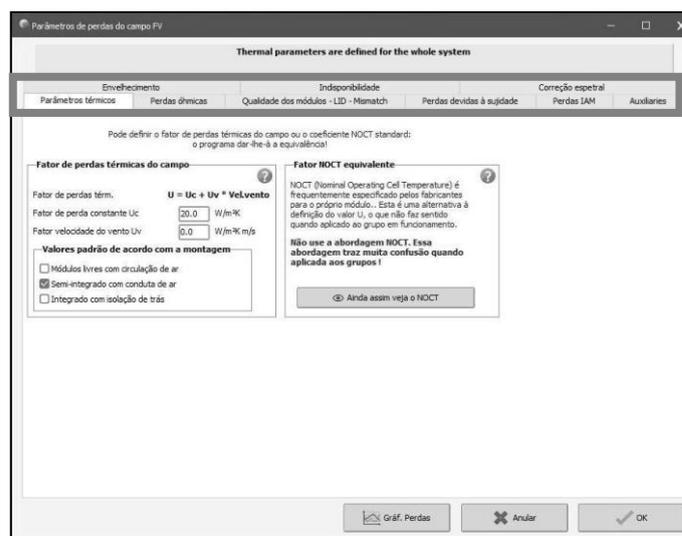


Fonte: Adapta.tado de [28].

### 3.2.4 Definição das Perdas

No espaço delimitado pela linha de cor vermelha em uma das telas do *software* PVsyst (ver Na Figura 3.5), é mostrada a interface para determinação dos parâmetros térmicos, isto é, características de temperatura do sistema.

Figura 3.5 - Definição das Perdas Térmicas, Perdas ôhmicas, Sujidade, Indisponibilidade e outras



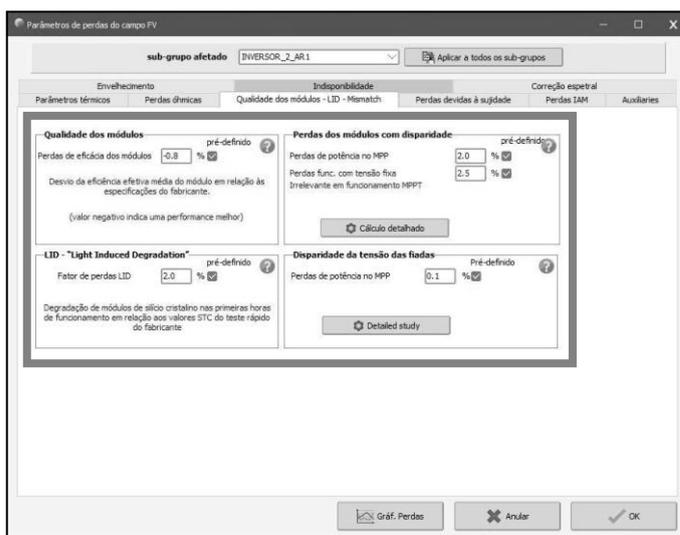
Fonte: O Adapta.tado de [28].

Na aba “perda ôhmicas”, define-se o percentual de perdas resistiva dos cabos, isto é, especificando a queda de tensão. Como pode ser observado, pode-se definir com detalhes os comprimentos de cada trecho de cabo, sendo eles vindouros desde os módulos até o inversor e deste até o ponto de conexão. Podendo, ser definido através de valores genéricos de perdas aceitáveis de 3% segundo a NBR-16690, para circuitos CC e para perdas ôhmicas de corrente alternada seria valores de 4% segundo a NBR-5410.

É apresentado as perdas devidas à sujidade, sendo que essa pré-definida com 3%. Sendo subjetiva diante da avaliação do terreno. Sendo que, as perdas por indisponibilidade do sistema, são ajustados devido a possibilidade de algum de tipo de desligamento programado ou não durante o período de funcionamento, comprometendo assim a geração. Sendo definida em 2%.

E por fim, observa-se na Figura 3.6 a qualidade dos módulos fotovoltaicos - LID – Mismatch, nesta etapa são definidas perdas padronizadas para descasamento de módulos e strings, isto é, suas composições sejam diferentes vindouras da fabricação ou não.

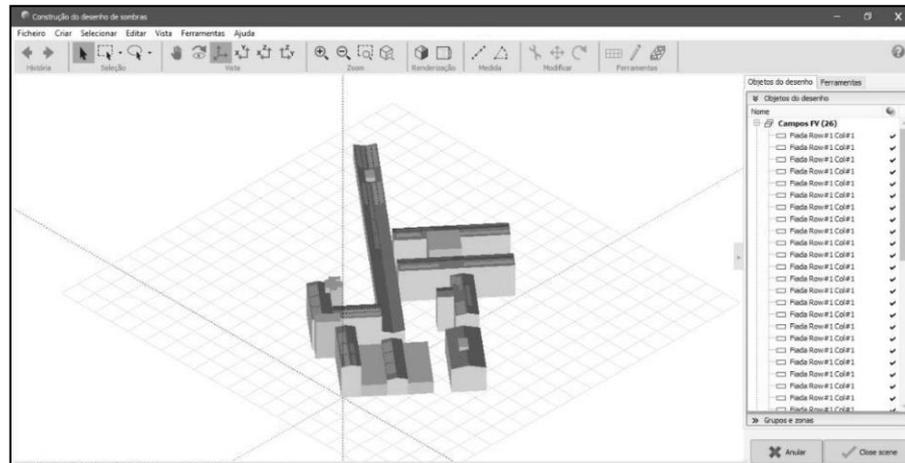
Figura 3.6 - Definição de Qualidade dos Módulos - LID - Mismatch



Fonte: Adapata.do de [28].

Após a determinação dos parâmetros técnicos e do dimensionamento do sistema uma ferramenta de modelagem 3D (ver Na Figura 3.7) é considerada, para a definição com maior precisão a geração de energia da unidade. Sendo possível ao final desse dimensionamento a inclusão de diversas tabelas e gráficos informativos.

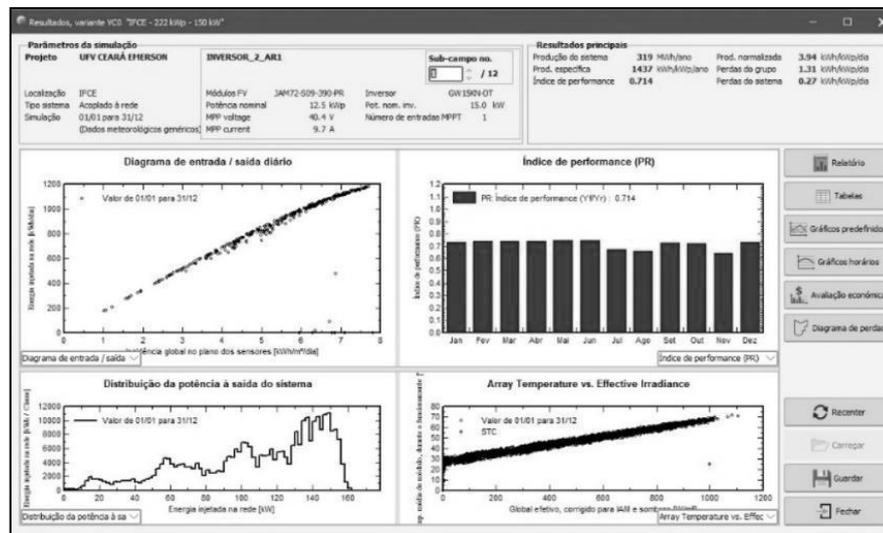
Figura 3.7 - Modelagem 3D



Fonte: Adaptado de [28].

A Figura 3.8 resume os principais resultados e informações apresentadas pelo relatório gerado através do PVsyst após a simulação da UFV de Fortaleza - CE de potência de 222 kWp. Outros dados podem ser observados no Anexo I.

Figura 3.8 - Definição de parâmetros para relatório final



Fonte: Adaptado de [28].

Em resumo, os parâmetros são definidos pela modelagem mediante a visitação da unidade e suas exigências. Vale ressaltar a diversidade de informações fornecidas neste ambiente de simulação. Sendo que, no estudo comparativo aqui proposto não é considerado a ferramenta de diagrama de perdas, onde é identificado parâmetros percentuais de perdas, não conveniente para a realidade do estudo de caso.

#### 4 ESTUDO DE CASO - USINA FOTOVOLTAICA FORTALEZA – CE

Depois da simulação da UFV, os resultados do monitoramento da operação dessa usina, vêm validar a metodologia de dimensionamento. Diante da coleta dados de geração através do sistema de monitoramento da GOODWE [31], compara-se os dados obtidos com os simulados no PVsyst entre os meses de janeiro de 2021 e dezembro de 2021. O Quadro 4.1 apresenta o conjunto de especificações da UFV – Fortaleza -CE. Um conjunto detalhada de especificações da UFV em estudo encontra-se no Anexo II deste TCC.

Quadro 4.1 – Especificações básicas da usina fotovoltaica em estudo

<b>UFV – Fortaleza -CE</b>	
<b>Potência Nominal</b>	150 kW
<b>Tensão Nominal</b>	380 V
<b>Irradiação Global Horizontal Anual</b>	2.059,30 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Temperatura Média Diurna Anual</b>	26,67 °C
<b>Altitude Média</b>	36 m
<b>Modelos de Inversores</b>	GW15KN-DT / GW50K-MT
<b>Modelos de painéis</b>	JAM72-S09-390-PR

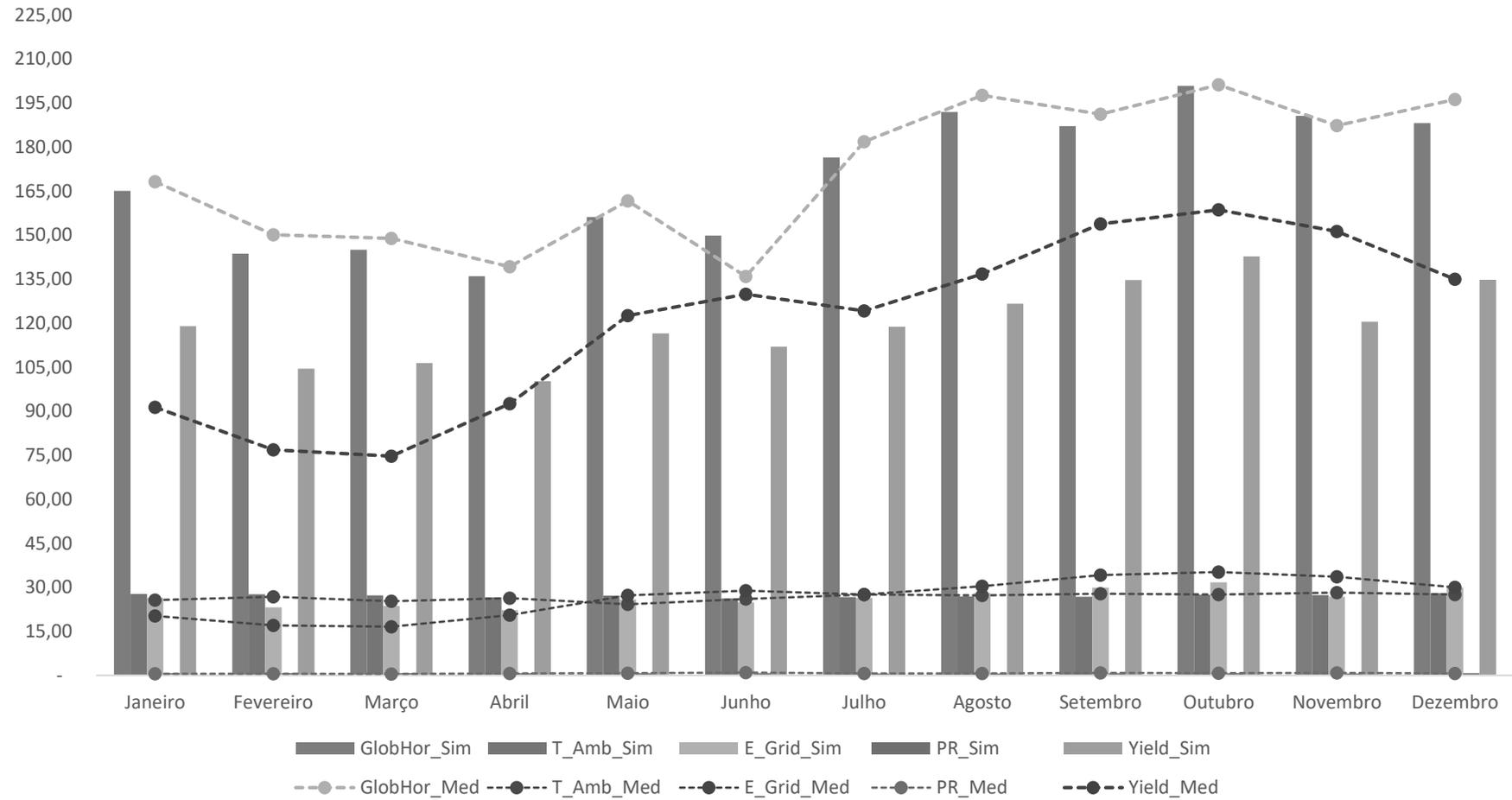
Fonte: O Autor.

Na Tabela 4.1, é possível observar os dados simulados e os dados medidos. Sendo possível observar na Figuras 4.1, o gráfico com os dados simulados no PVsyst e dados medidos pelos sensores solarimétricos de temperatura, irradiância e velocidade do vento, energia, *Performance Ration* (PR) e Produtividade (*Yield*), sendo que, índices como Desempenho de Energia, Disponibilidade e Entrega de Energia, não foram mencionados pela falta de dados, não sendo possível suas medições. Dessa forma, observa-se nas Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5, as diferenças relativas entre as grandezas medidas e as resultantes da simulação da UFV no PVsyst.

Conforme pode ser observado na Tabela 4.3, a diferença percentual entre o valor de geração da UFV em operação e o valor de geração da UFV na simulação é de -0,74%, sendo que *Performance Ration* (PR) apresenta uma diferença de 2,39% e Produtividade (*Yield*) o valor percentual de -0,74% da energia, sendo coerente, pois ambos têm um comportamento proporcional. Apesar da diferença apresentada não ser significativa quando comparada a médias dos 12 meses, observa-se que os resultados mês a mês sofrem uma leve variação de valores (ver na Figura 4.3).

Figura 4.1 - Gráfico dos parâmetros simulados e medidos em operação

### Gráfico dos Dados de Simulação e Medição - UFV - Fortaleza - CE



Fonte Adaptado de [18].

Tabela 4.1 – Grandezas obtidas a partir da simulação PVsyst

	<b>DADOS DE SIMULAÇÃO E MEDIÇÃO</b>									
	<b>Irradiância_sim</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>Irradiância_med</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>Temperatura</b> <b>Ambiente_sim</b> (°C)	<b>Temperatura</b> <b>Ambiente_med</b> (°C)	<b>Energia_sim</b> (MWh)	<b>Energia_med</b> (MWh)	<b>PR_sim</b>	<b>PR_med</b>	<b>Yield_sim</b>	<b>Yield_med</b>
Janeiro	165,10	168,20	27,70	25,61	26,41	20,28	0,736	0,543	118,96	91,33
Fevereiro	143,70	150,10	27,64	26,80	23,20	17,07	0,739	0,512	104,50	76,88
Março	145,00	148,90	27,28	25,30	23,61	16,58	0,740	0,502	106,35	74,69
Abril	136,00	139,20	26,57	26,30	22,26	20,55	0,742	0,665	100,27	92,56
Mai	156,20	161,70	27,19	24,21	25,86	27,20	0,746	0,758	116,49	122,52
Junho	149,80	135,90	26,23	25,99	24,86	28,82	0,745	0,955	111,98	129,82
Julho	176,40	181,80	26,71	27,51	26,37	27,57	0,671	0,683	118,78	124,18
Agosto	192,00	197,60	26,85	27,20	28,11	30,37	0,660	0,692	126,62	136,79
Setembro	187,10	191,20	26,77	27,85	29,90	34,14	0,725	0,804	134,68	153,76
Outubro	200,90	201,20	27,39	27,54	31,69	35,21	0,721	0,788	142,75	158,60
Novembro	190,60	187,30	27,34	28,20	26,74	33,58	0,646	0,808	120,45	151,25
Dezembro	188,20	196,20	28,00	27,52	29,93	29,96	0,733	0,688	134,82	134,97
<b>Ano</b>	<b>2.031,00</b>	<b>2.059,30</b>	<b>325,67</b>	<b>320,03</b>	<b>318,94</b>	<b>321,31</b>	-	-	<b>1.436,67</b>	<b>1.447,36</b>
<b>Média</b>	<b>169,25</b>	<b>171,61</b>	<b>27,14</b>	<b>26,67</b>	<b>26,58</b>	<b>26,78</b>	<b>0,717</b>	<b>0,700</b>	<b>119,72</b>	<b>120,61</b>

Fonte Adaptado de [18].

Tabela 4.3 – Diferença entre grandezas medidas e simuladas.

	<b>DIFERENÇA</b>				
	<b>Irradiância (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura Ambiente (°C)</b>	<b>Energia (MWh)</b>	<b>PR</b>	<b>Yield</b>
Janeiro	- 3,10	2,09	6,13	0,19	27,63
Fevereiro	- 6,40	0,84	6,13	0,23	27,62
Março	- 3,90	1,98	7,03	0,24	31,67
Abril	- 3,20	0,27	1,71	0,08	7,71
Maio	- 5,50	2,98	- 1,34	- 0,01	- 6,04
Junho	13,90	0,24	- 3,96	- 0,21	- 17,84
Julho	- 5,40	- 0,80	- 1,20	- 0,01	- 5,40
Agosto	- 5,60	- 0,35	- 2,26	- 0,03	- 10,16
Setembro	- 4,10	- 1,08	- 4,24	- 0,08	- 19,08
Outubro	- 0,30	- 0,15	- 3,52	- 0,07	- 15,85
Novembro	3,30	- 0,86	- 6,84	- 0,16	- 30,80
Dezembro	- 8,00	0,48	- 0,03	0,05	0,15
<b>Ano</b>	- <b>28,30</b>	<b>5,64</b>	- <b>2,37</b>	-	- <b>10,69</b>
<b>Média</b>	- <b>2,36</b>	<b>0,47</b>	- <b>0,37</b>	<b>0,02</b>	- <b>0,89</b>

Fonte: Adaptado de [18].

Na Tabela 4.4 destaca-se a diferença em MWh apurada, assim como a diferença percentual das demais grandezas observadas neste estudo, sendo possível observar que ao longo de um ano de funcionamento da UFV de Fortaleza – CE, a diferença média entre a energia gerada esperada e a energia média gerada foram bem próximas, apresentando diferença percentual menor que 1%.

Tabela 4.4 - Percentual dos parâmetros de medição e simulação

	<b>DIFERENÇA %</b>				
	<b>Irradiância (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura Ambiente (°C)</b>	<b>Energia (MWh)</b>	<b>PR</b>	<b>Yield</b>
Janeiro	-1,88%	7,55%	23,23%	26,22%	23,23%
Fevereiro	-4,45%	3,04%	26,43%	30,69%	26,43%
Março	-2,69%	7,26%	29,77%	32,22%	29,77%
Abril	-2,35%	1,02%	7,69%	10,39%	7,69%
Maió	-3,52%	10,96%	-5,18%	-1,57%	-5,18%
Junho	9,28%	0,91%	-15,93%	-28,22%	-15,93%
Julho	-3,06%	-3,00%	-4,55%	-1,80%	-4,55%
Agosto	-2,92%	-1,30%	-8,03%	-4,88%	-8,03%
Setembro	-2,19%	-4,03%	-14,16%	-10,92%	-14,16%
Outubro	-0,15%	-0,55%	-11,11%	-9,33%	-11,11%
Novembro	1,73%	-3,15%	-25,57%	-25,01%	-25,57%
Dezembro	-4,25%	1,71%	-0,11%	6,15%	-0,11%
<b>Ano</b>	<b>-1,39%</b>	<b>1,73%</b>	<b>-0,74%</b>	<b>-</b>	<b>-0,74%</b>
<b>Média</b>	<b>-1,39%</b>	<b>1,73%</b>	<b>-0,74%</b>	<b>2,39%</b>	<b>-0,74%</b>

Fonte: Adaptado de [18].

Outra forma de observar e comparar os resultados da simulação e os dados de operação coletados através de sensores é através do cálculo do erro quadrático médio. Esse pode servir como um parâmetro estatístico para medir o desempenho, indicando o desvio entre os dados coletados e os simulados. A Tabela 4.5 apresenta o cálculo do erro quadrático médio, para Irradiância, Temperatura Ambiente, Energia, PR e Yield.

O cálculo resultou em um erro quadrático médio da raiz de 908,03 kWh. O erro quadrático médio da raiz é feito para calcular a diferença entre a simulação e os valores reais, representando, dessa forma, o erro de previsão entre o simulado no PVsyst e o medido através do monitoramento do sistema fotovoltaico objeto do estudo.

Tabela 4.5 - Erro Quadrático Médio da diferença dos parâmetros de medição e simulação

	<b>ERRO QUADRADICO MÉDIO</b>				
	<b>Irradiância (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura Ambiente (°C)</b>	<b>Energia (MWh)</b>	<b>PR</b>	<b>Yield</b>
Janeiro	9,61	4,37	37,63	0,037	763,45
Fevereiro	40,96	0,71	37,60	0,051	762,88
Março	15,21	3,92	49,42	0,057	1.002,69
Abril	10,24	0,07	2,93	0,006	59,51
Mai	30,25	8,88	1,80	0,000	36,46
Junho	193,21	0,06	15,68	0,044	318,16
Julho	29,16	0,64	1,44	0,000	29,16
Agosto	31,36	0,12	5,09	0,001	103,32
Setembro	16,81	1,17	17,94	0,006	363,97
Outubro	0,09	0,02	12,39	0,005	251,32
Novembro	10,89	0,74	46,76	0,026	948,70
Dezembro	64,00	0,23	0,00	0,002	0,02
<b>Ano</b>	<b>451,79</b>	<b>20,93</b>	<b>228,66</b>	<b>-</b>	<b>4.639,63</b>
<b>Média</b>	<b>69,51</b>	<b>3,22</b>	<b>35,18</b>	<b>0,02</b>	<b>713,79</b>
<b>E. Quadrático</b>	<b>8,34</b>	<b>1,79</b>	<b>5,93</b>	<b>0,14</b>	<b>26,72</b>

Fonte: Adaptado de [18].

O cálculo do erro quadrático médio da Energia resultou em 5,93 MWh. O erro quadrático médio é feito para calcular a diferença entre a simulação e os valores reais, representando, dessa forma, o erro de previsão entre o simulado no PVsyst e o medido através do monitoramento do sistema fotovoltaico.

De acordo com os dados comparados de geração de energia e valores da simulação, é possível observar por exemplo, que em média, para 12 meses de operação da UFV Fortaleza - CE, observou-se uma diferença de 2,37 MWh/mês, a menor diferença em termos de geração de energia simulada e energia efetivamente gerada. Observa-se que a diferença percentual entre o modelo teórico e de operação ficando em - 0,74%. Esta diferença, em primeira análise, não é significativa. No entanto, quando se observa os resultados mensais há meses em que a diferença entre geração simulada e geração real pode apresentar diferenças significativas, o que pode ser justificável pelo fato de as condições de simulação não retratarem fielmente os dados climáticos ou por ocorrerem condições climáticas adversas.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise comparativa entre as grandezas consideradas no projeto de uma UFV no software PVsyst e os dados de monitoramento dessa usina já na fase de operação. Os dados de monitoramento foram obtidos partir da interface de monitoramento GOODWE do estágio de conversão de energia CC/CA da UFV que associa os dados solarimétricos obtidos. Ressalta-se que este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) teve como foco um estudo de caso de caráter funcional do projeto de sistemas fotovoltaicos e sua simulação computacional, bem como a comparação dos resultados.

A ideia deste estudo, que nasceu como parte das atividades de acompanhamento da implantação de uma UFV, atualmente em operação em Fortaleza no Ceará, surgiu para buscar respostas relativas à confiabilidade da simulação de sistemas fotovoltaicos para posterior implementação dos mesmos. Dessa forma, tornou-se possível propor a análise comparativa entre a simulação e a efetiva geração de energia de um sistema já instalado e em operação. Os desafios estiveram presentes desde o início, desde a escolha do software de simulação, a disponibilidade de um sistema instalado e acesso para coleta de dados no sistema fotovoltaico em estudo.

Sabe-se que, o 100% da PR nunca será atingível na realidade, pois durante a operação do sistema fotovoltaico também ocorrem perdas inevitáveis. Sobretudo, sistemas fotovoltaicos eficientes atingem no mínimo 80%. O acompanhamento regular da PR com intervalos de tempo regulares não se destina a uma comparação absoluta e sim ao controle do progresso do rendimento do sistema fotovoltaico, sendo assim possível detectar falhas. Contudo, tem-se que o sistema simulado e que está em operação apresentam um PR ineficiente.

Dessa forma, após considerar a etapa de simulação da UFV e a coleta de dados durante o período de um ano de operação da mesma, os resultados expressos em termos da energia gerada, e de índices de desempenho, dentre outras grandezas, foram comparados. Confrontando, por exemplo, a geração de energia no período estudado e os dados da simulação observou-se uma diferença média menor que 1%.

O *software* PVsyst demonstrou ser uma ferramenta de grande utilidade no projeto, simulação e avaliação operacional qualitativa de sistema fotovoltaico, possibilitando, também, analisar opções que possam conferir ao projeto melhor desempenho na geração de energia, partindo do pressuposto que o projetista seja bastante conservador em sua análise, agregando o máximo de informações relativas ao sistema fotovoltaico a ser projetado.

- **Sugestões para trabalhos futuros**

Este TCC contribui para estudos que visem avaliar a confiabilidade de ferramentas

computacionais usadas para o projeto de sistemas fotovoltaicos, servindo de base para embasar trabalhos com os seguintes objetivos:

- Estudo de caso de sistemas já operacionais de diferentes tipos (On-grid, off-grid e híbridos);
- Impacto na avaliação da viabilidade financeira da implementação de sistemas de diferentes tipos de geração devido a opção pela ferramenta de simulação de sistemas fotovoltaicos.

## REFERÊNCIAS

- [1] < <http://ccedal.com.br/energia/85598-aneel-bate-meta-de-expansao-da-matriz-eletrica-em-2021-tres-meses-antes-do-previsto>> Acessado em 05 de out. 2021.
- [2] < <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/resenha-mensal-o-consumo-de-eletricidade-no-brasil-em-julho-de-2021-apresentou-avanco-de-5-7-em-relacao-ao-mesmo-mes-de-2020>> Acessado em 13 de out. 2021.
- [3] BEHENCK, Ivann Soares. **Estudo comparativo da viabilidade de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, através do software Homer**. 2011. 121 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Curso de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2011.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2014). NBR 16247 - **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho**. Rio de Janeiro.
- [5] <<https://canalsolar.com.br/analise-das-causas-de-baixo-desempenho-nos-sistemas-fotovoltaicos/>> Acessado em: 13 de out. 2021.
- [6] **Atlas brasileiro de energia solar**, 2. Ed – São José dos Campos : INPE 2017. Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; André Rodrigues Gonçalves; Rodrigo Santos Costa; Francisco J. Lopes de Lima; Ricardo Rüther; Samuel Luna de Abreu; Gerson Máximo Tiepolo; Silvia Vitorino Pereira; Jefferson Gonçalves de Souza
- [7] <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html>> Acessado em 20 de dez. 2021.
- [8] <<https://www.sustainablecarbon.com/blog/o-potencial-da-energia-solar-no-brasil/>> Acessado em 21 de dez. 2021.
- [9] PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014. Disponível em: <[https://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual\\_de\\_engenharia\\_fv\\_2014.pdf](https://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2018.
- [10] RODRIGUES, Márcio do Carmo Barbosa. **Uma Visão Topológica Sobre Sistemas Fotovoltaicos Monofásicos Conectados À Rede De Energia Elétrica**. Juiz de Fora: Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: <<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fseeds.usp.br%2Fpir%2Farquivos%2Fcongressos%2FCLAGTEE2003%2FPapers%2FRNCSEP%2520B-042.pdf&clen=411931&chunk=true>>

- [11] <[http://www.yourhome.gov.au/sites/prod.yourhome.gov.au/files/images/EPVsystemsSolarPVProductsConfigs-01\\_fmt.png](http://www.yourhome.gov.au/sites/prod.yourhome.gov.au/files/images/EPVsystemsSolarPVProductsConfigs-01_fmt.png)> Acesso em 11/12/2021.
- [12] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Capacidade de geração do Brasil**.2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: janeiro 2021.
- [13] S. H. Costa, “**Modelo sustentável de difusão da tecnologia fotovoltaica para uso residencial**”. XVII Conferência Latino-Americana de Eletrificação Rural, Recife, p. 1-10, 1999
- [14] G.A. Rampinelli, A. Krenzinger, “**Descrição De Um Programa Computacional De Simulação De Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica De Distribuição**”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Energia Solar.
- [15] KHALID, A. M., MITRA, I., WARMUTH, W., SCHACHT, V. Performance ratio–crucial parameter for grid connected pv plants. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 65, p. 1139–1158, 2016
- [16] ZANESCO, IZETE. "Análise e construção de um piranômetro fotovoltaico." (1991).
- [17] LUQUE, A. & Hegedus, S., 2003. **Handbook of photovoltaic science and engineering**, John Wiley & Sons Inc. Maxi Integrated, 2019. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer
- [17] <<https://solarview.zendesk.com/hc/pt-br/articles/360053023691-O-que-%C3%A9-a-Resolu%C3%A7%C3%A3o-Normativa-687-2015%20#:~:text=A%20REN%20687%2F2015%20reduziu,de%20180%20para%2051%20dias>> Acessado em 20 de dez. 2021.
- [18] <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>> Acesso em: janeiro 2021.> Acesso em 11/12/2021
- [19] ABREU, Y. V. et al. **Energia, Economia e Rotas Tecnológicas** – Textos Selecionados. Palmas – TO. 2010. Disponível em: <[www.eumed.net/librosgratis/2010e/827/](http://www.eumed.net/librosgratis/2010e/827/)> Acessado em 20 de dez. 2021.
- [20] SUZUKI, Eime Veridiane; REZENDE, Fernanda Dutra – Estudo da Utilização da Geração Fotovoltaica para Auxiliar a Suprir a Demanda Crescente e Energia Elétrica no Brasil – Monografia de Especialização – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-CT), Curso de Especialização em Eficiência Energética. 2013.

- [21] <<https://inovacare.solar/o-setor-fotovoltaico/marco-legal-da-mmgd-importancia-e-historico/146>> Acesso em: 20 de julho 2022
- [22] <<https://canalsolar.com.br/economizando-cabos-conexao-leap-frog-modulos-fv/>> Acesso em: 20 de julho 2022.
- [23] ALVES, Marliana de Oliveira Lage – **Estudo energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid** – Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica de Ouro Preto, Instituto de Ciências exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica, 2019
- [24] NT. 001.EQTL. Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão
- [25] <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>> Acesso em: 15/07/2022
- [26] <<https://projetofovolt.com.br/blog/entenda-o-que-e-fator-de-dimensionamento-de-inversor/>> Acesso em: 15/07/2022
- [27] ZANCHETTA, Lucas – **Avaliação de Programa Computacionais de Simulação para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede elétrica** – Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020.
- [28] <<http://www.pvsyst.com>> Acesso em: 18/07/2022
- [29] NETO, Julio Boing – **Curso de PVsyst Projeto, Simulação e Relatórios Geração Distribuída e Usinas** – Treinamento – ElektSolar Innovations;
- [30] FUJIWARA, Lilian Naoko - **Estudo Comparativo De Dimensionamento De Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede Através De Ferramentas Computacionais E Método Analítico** – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Elétrica, Espirito Santo, 2018.
- [31] <<https://www.semsportal.com/home/login>> Acesso em: 21/07/2022

## ANEXO I – Relatório de Simulação PVsyst da UFV FORTALEZA

	<b>Projeto: UFV CEARÁ EMERSON</b> Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW	
<b>PVsyst V7.1.0</b> Data da simulação: 13/01/22 19:11 com v7.1.0		
<b>Resumo do projeto</b>		
<b>Localização geográfica</b> IFCE Brazil	<b>Localização</b> Latitude            -3.74 °S Longitude         -38.54 °W Altitude            36 m Fuso horário        UTC-3	<b>Parâmetros projeto</b> Albedo                0.20
<b>Dados meteorológicos</b> IFCE Meteororm 7.3 - Sintético		
<b>Resumo do sistema</b>		
<b>Sistema acoplado à rede</b> <b>Orientação do plano dos módulos</b> Planos fixos        4 orientações Inclín/azimutes    12 / -40 ° 12 / 140 ° 12 / 50 ° 12 / -130 °	<b>Tables on a building</b> <b>Sombras próximas</b> Segundo os strings Efeito elétrico        100 %	<b>Exigências do consumidor</b> Carga ilimitada (rede)
<b>Informação do sistema</b> <b>Grupo FV</b> Número de módulos Pnom total	569 unidades 222 kWp	<b>Inversores</b> Número de unidades        5 unidades Pnom total                    180 kWac Rácio Pnom                    1.233
<b>Resumo dos resultados</b>		
Energia produzida    319.0 MWh/ano	Produção específica    1437 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR        71.41 %
<b>Índice</b>		
Resumo do projeto e dos resultados _____	2	
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema _____	3	
Definição do horizonte _____	8	
Definição das sombras próximas - Diagrama das iso-sombras _____	9	
Resultados principais _____	10	
Diagrama de perdas _____	11	
Gráficos especiais _____	12	



PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

## Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede		Tables on a building		Modelos utilizados	
<b>Orientação do plano dos módulos</b>		<b>Configuração dos sheds</b>		<b>Transposição</b>	
Orientação		Nr. de sheds	26 unidades	Difuso	Perez
Planos fixos	4 orientações	Dimensões		Circumsolar	Perez, Meteorom separado
Inclinações	12 / -40 *	Esp. entre sheds	18,2 m		
	12 / 140 *	Largura módulos	3,02 m		
	12 / 50 *	Taxa ocup. do solo (GCR)	16,6 %		
	12 / -130 *	Ângulo limite das sombras			
		Ângulo de perfil limite	2,4 *		
<b>Horizonte</b>		<b>Sombras próximas</b>		<b>Exigências do consumidor</b>	
Altura média	8,0 *	Segundo os strings		Carga limitada (rede)	
		Efeito elétrico	100 %		

## Características do grupo FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	JA Solar	Fabricante	Goodwe
Modelo	JAM72-809-390-PR	Modelo	GW15KN-DT
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Potência unitária	390 Wp	Potência unitária	15,0 kWac
Número de módulos FV	94 unidades	Número de inversores	2 unidades
Nominal (STC)	36,7 kWp	Potência total	30,0 kWac
<b>Grupo #1 - INVERSOR_2_AR1</b>			
Orientação	#1		
Tilt/Azimuth	12/-40 *		
Número de módulos FV	32 unidades	Número de inversores	1 * MPPT 0,67 0,7 unidades
Nominal (STC)	12,48 kWp	Potência total	10,0 kWac
Módulos	2 Strings x 16 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>			
Pmpp	11,33 kWp	Tensão de funcionamento	200-850 V
Ump	583 V	Rácio Pnom (DC:AC)	1,25
I mpp	19 A		
<b>Grupo #2 - INVERSOR_2_AR2</b>			
Orientação	#1		
Tilt/Azimuth	12/-40 *		
Número de módulos FV	15 unidades	Número de inversores	1 * MPPT 0,33 0,3 unidades
Nominal (STC)	5,85 kWp	Potência total	5,0 kWac
Módulos	1 String x 15 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>			
Pmpp	5,31 kWp	Tensão de funcionamento	200-850 V
Ump	546 V	Rácio Pnom (DC:AC)	1,17
I mpp	9,7 A		
<b>Grupo #3 - INVERSOR_1_AR1</b>			
Orientação	#2		
Tilt/Azimuth	12/140 *		
Número de módulos FV	32 unidades	Número de inversores	1 * MPPT 0,67 0,7 unidades
Nominal (STC)	12,48 kWp	Potência total	10,0 kWac
Módulos	2 Strings x 16 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>			
Pmpp	11,33 kWp	Tensão de funcionamento	200-850 V
Ump	583 V	Rácio Pnom (DC:AC)	1,25
I mpp	19 A		



PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

## Características do grupo FV

## Grupo #4 - INVERSOR\_1\_AR2

Orientação	#2		
Tilt/Azimuth	12/140 °		
Número de módulos FV	15 unidades	Número de Inversores	1 * MPPT 0.33 0.3 unidades
Nominal (STC)	5.85 kWp	Potência total	5.0 kWac
Módulos	1 String x 15 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	5.31 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.17
Umpp	546 V		
Impp	9.7 A		

## Módulo FV

Fabricante	JA Solar
Modelo	JAM72-309-390-PR
(Original PVsyst database)	
Potência unitária	390 Wp
Número de módulos FV	475 unidades
Nominal (STC)	185 kWp

## Inversor

Fabricante	Goodwe
Modelo	GW50K-MT
(Original PVsyst database)	
Potência unitária	50.0 kWac
Número de Inversores	3 unidades
Potência total	150 kWac

## Grupo #5 - INVERSOR\_4\_MPPT1\_2

Orientação	#1		
Tilt/Azimuth	12/-40 °		
Número de módulos FV	96 unidades	Número de Inversores	2 * MPPT 25% 0.5 unidades
Nominal (STC)	37.4 kWp	Potência total	25.0 kWac
Módulos	6 Strings x 16 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	34.0 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.50
Umpp	583 V		
Impp	58 A		

## Grupo #6 - INVERSOR\_4\_MPPT3

Orientação	#3		
Tilt/Azimuth	12/50 °		
Número de módulos FV	32 unidades	Número de Inversores	1 * MPPT 25% 0.3 unidades
Nominal (STC)	12.48 kWp	Potência total	12.5 kWac
Módulos	2 Strings x 16 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	11.33 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.00
Umpp	583 V		
Impp	19 A		

## Grupo #7 - INVERSOR\_4\_MPPT4

Orientação	#4		
Tilt/Azimuth	12/-130 °		
Número de módulos FV	30 unidades	Número de Inversores	1 * MPPT 25% 0.3 unidades
Nominal (STC)	11.70 kWp	Potência total	12.5 kWac
Módulos	2 Strings x 15 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	10.62 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	0.94
Umpp	546 V		
Impp	19 A		



PVsyst V7.1.0

Data de simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

## Características do grupo FV

**Grupo #8 - INVERSOR\_3\_MPPT1\_2**

Orientação	#1		
Tilt/Azimuth	12/-40 °		
Número de módulos FV	96 unidades	Número de Inversores	2 * MPPT 25% 0.5 unidades
Nominal (STC)	37,4 kWp	Potência total	25,0 kWac
Módulos	6 Strings x 16 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	34,0 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1,50
Umpp	583 V		
I mpp	58 A		

**Grupo #9 - INVERSOR\_3\_MPPT3\_4**

Orientação	#2		
Tilt/Azimuth	12/140 °		
Número de módulos FV	64 unidades	Número de Inversores	2 * MPPT 25% 0.5 unidades
Nominal (STC)	24,96 kWp	Potência total	25,0 kWac
Módulos	4 Strings x 16 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	22,65 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1,00
Umpp	583 V		
I mpp	39 A		

**Grupo #10 - INVERSOR\_5\_MPPT1**

Orientação	#4		
Tilt/Azimuth	12/-130 °		
Número de módulos FV	45 unidades	Número de Inversores	1 * MPPT 25% 0.3 unidades
Nominal (STC)	17,55 kWp	Potência total	12,5 kWac
Módulos	3 Strings x 15 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	15,93 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1,40
Umpp	546 V		
I mpp	29 A		

**Grupo #11 - INVERSOR\_5\_MPPT3\_4**

Orientação	#3		
Tilt/Azimuth	12/50 °		
Número de módulos FV	64 unidades	Número de Inversores	2 * MPPT 25% 0.5 unidades
Nominal (STC)	24,96 kWp	Potência total	25,0 kWac
Módulos	4 Strings x 16 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	22,65 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1,00
Umpp	583 V		
I mpp	39 A		

**Grupo #12 - INVERSOR\_5\_MPPT2**

Orientação	#4		
Tilt/Azimuth	12/-130 °		
Número de módulos FV	48 unidades	Número de Inversores	1 * MPPT 25% 0.3 unidades
Nominal (STC)	18,72 kWp	Potência total	12,5 kWac
Módulos	3 Strings x 16 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	200-850 V
Pmpp	16,99 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1,50
Umpp	583 V		
I mpp	29 A		



PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

## Características do grupo FV

<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	222 kWp	Potência total	180 kWac
Total	569 módulos	N.º de Inversores	5 unidades
Superfície módulos	1122 m²	Rácio Pnom	1.23

## Perdas do grupo

<b>Perdas sujidade grupo</b>		<b>Fator de perdas térm.</b>		<b>LID - "Light Induced Degradation"</b>	
Fração perdas	3.0 %	Temperatura módulos em função irradiância		Fração perdas	2.0 %
		Uc (const.)	20.0 W/m²K		
		Uv (vento)	0.0 W/m²K/m/s		
<b>Perdas de qualidade dos módulos</b>		<b>Perdas dos módulos com disparidade</b>		<b>Perdas devidas a disparidade, em fadigas</b>	
Fração perdas	-0.8 %	Fração perdas	2.0 % no MPP	Fração perdas	0.1 %

## Fator de perda IAM

Efeito de incidência (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

## Perdas de cablagem DC

Res. global dos cabos	10 mΩ		
Fração perdas	1.0 % em STC		
<b>Grupo #1 - INVERSOR_2_AR1</b>		<b>Grupo #2 - INVERSOR_2_AR2</b>	
Res. global do grupo	335 mΩ	Res. global do grupo	628 mΩ
Fração perdas	1.0 % em STC	Fração perdas	1.0 % em STC
<b>Grupo #3 - INVERSOR_1_AR1</b>		<b>Grupo #4 - INVERSOR_1_AR2</b>	
Res. global do grupo	335 mΩ	Res. global do grupo	628 mΩ
Fração perdas	1.0 % em STC	Fração perdas	1.0 % em STC
<b>Grupo #5 - INVERSOR_4_MPPT1_2</b>		<b>Grupo #6 - INVERSOR_4_MPPT3</b>	
Res. global do grupo	112 mΩ	Res. global do grupo	335 mΩ
Fração perdas	1.0 % em STC	Fração perdas	1.0 % em STC
<b>Grupo #7 - INVERSOR_4_MPPT4</b>		<b>Grupo #8 - INVERSOR_3_MPPT1_2</b>	
Res. global do grupo	314 mΩ	Res. global do grupo	112 mΩ
Fração perdas	1.0 % em STC	Fração perdas	1.0 % em STC
<b>Grupo #9 - INVERSOR_3_MPPT3_4</b>		<b>Grupo #10 - INVERSOR_5_MPPT1</b>	
Res. global do grupo	168 mΩ	Res. global do grupo	209 mΩ
Fração perdas	1.0 % em STC	Fração perdas	1.0 % em STC
<b>Grupo #11 - INVERSOR_5_MPPT3_4</b>		<b>Grupo #12 - INVERSOR_5_MPPT2</b>	
Res. global do grupo	168 mΩ	Res. global do grupo	223 mΩ
Fração perdas	1.0 % em STC	Fração perdas	1.0 % em STC

## Perdas do sistema

<b>Indisponibilidade do sistema</b>	
Fração tempo	2.0 %
	7.3 dias,
	3 períodos

## Perdas de cablagem AC



PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

#### Perdas de cablagem AC

##### Inv. output line up to injection point

Tensão Inversor	400 Vac tri
Fração perdas	4.0 % em STC
Sistema global	
Wire section	Cobre 3 x 1000 mm <sup>2</sup>
Wires length	1561 m



PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

### Definição do horizonte

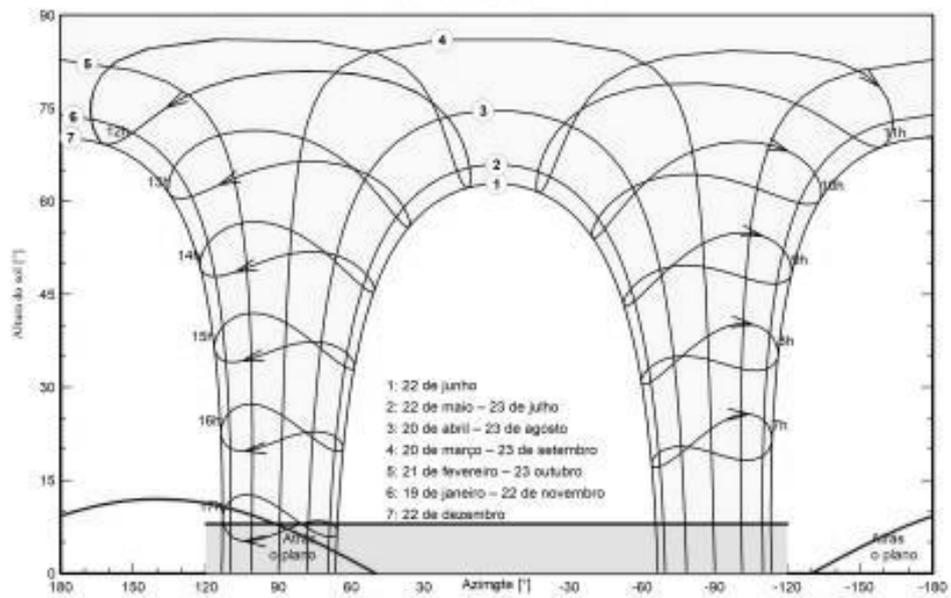
Altura média	8.0 *	Fator albedo	0.85
Fator difuso	0.99	Fração albedo	100 %

### Perfil do horizonte

Azimuth [°]	-120	-40	40	120
Altura [°]	8.0	8.0	8.0	8.0

### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

#### Linha do horizonte em IFCE





PVsyst V7.1.0

Data de simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

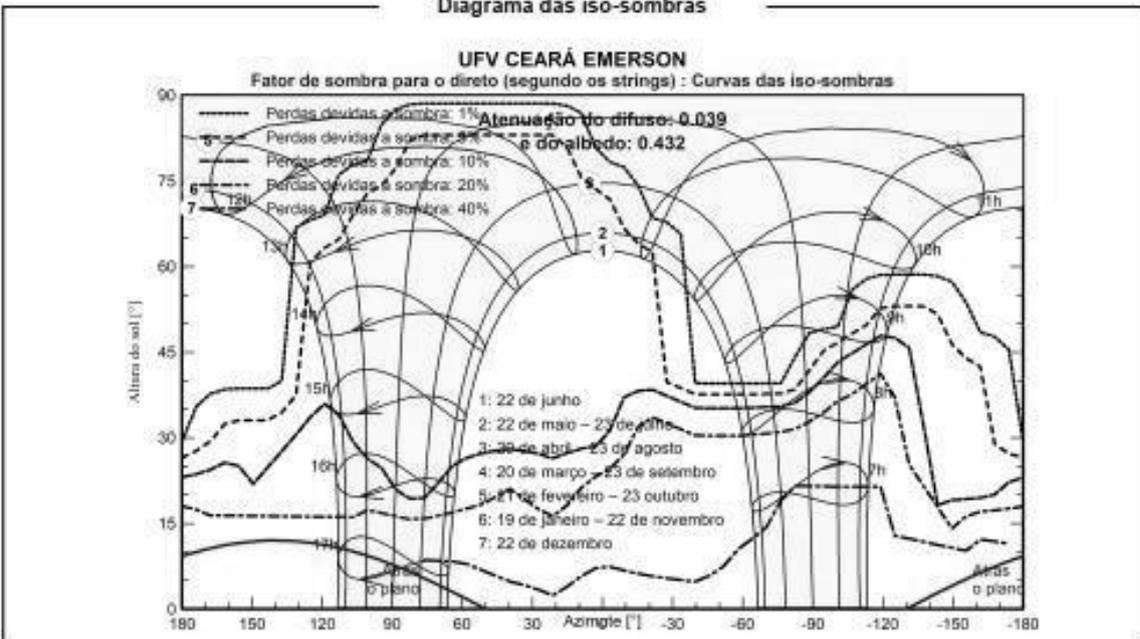
Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

Parâmetros para sombras próximas  
Perspetiva do desenho de sombras próximas



Diagrama das iso-sombras





PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

## Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

## Resultados principais

## Produção do sistema

Energia produzida

319.0 MWh/ano

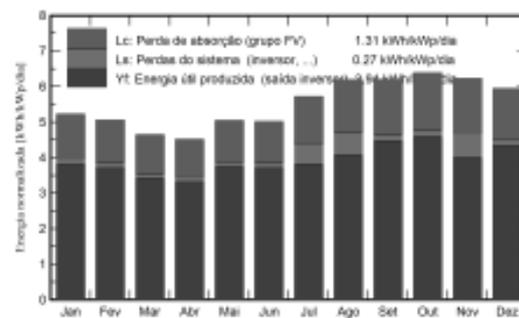
Produção específica

1437 kWh/kWplano

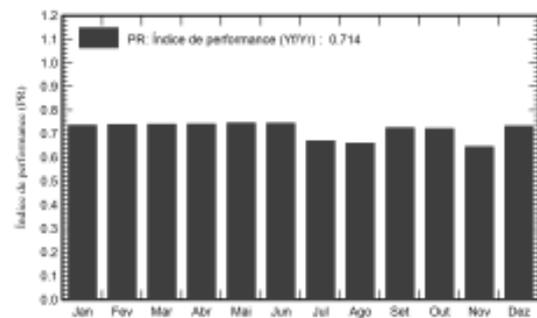
Índice de performance (PR)

71.41 %

## Produções normalizadas (por kWp Instalado)



## Índice de performance (PR)



## Balanços e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	rácio
Janeiro	165.1	82.69	27.70	161.8	147.8	27.38	26.41	0.736
Fevereiro	143.7	78.74	27.64	141.5	129.4	24.04	23.20	0.739
Março	145.0	86.32	27.28	143.8	131.4	24.45	23.61	0.740
Abril	136.0	73.47	26.57	135.3	123.5	23.05	22.26	0.742
Mai	156.2	74.17	27.19	156.3	142.8	26.80	25.86	0.746
Junho	149.8	62.01	26.23	150.4	137.3	25.76	24.86	0.745
Julho	176.4	60.09	26.71	177.2	162.3	30.12	26.37	0.671
Agosto	192.0	61.22	26.85	191.9	177.1	32.48	28.11	0.660
Setembro	187.1	69.14	26.77	185.8	171.6	31.07	29.90	0.725
Outubro	200.9	72.98	27.39	198.0	183.1	32.96	31.69	0.721
Novembro	190.6	73.31	27.34	186.7	171.9	31.26	26.74	0.646
Dezembro	188.2	78.24	28.00	184.1	169.1	31.07	29.93	0.733
Ano	2031.1	872.38	27.14	2012.7	1847.2	340.45	318.95	0.714

## Legendas

GlobHor Irradiação global horizontal

DiffHor Irradiação difusa horizontal

T\_Amb Temperatura ambiente

GlobInc Incidência global no plano dos sensores

GlobEff Global efetivo, corrigido para IAM e sombras

EArray Energia efetiva à saída do grupo

E\_Grid Energia Injetada na rede

PR Índice de performance



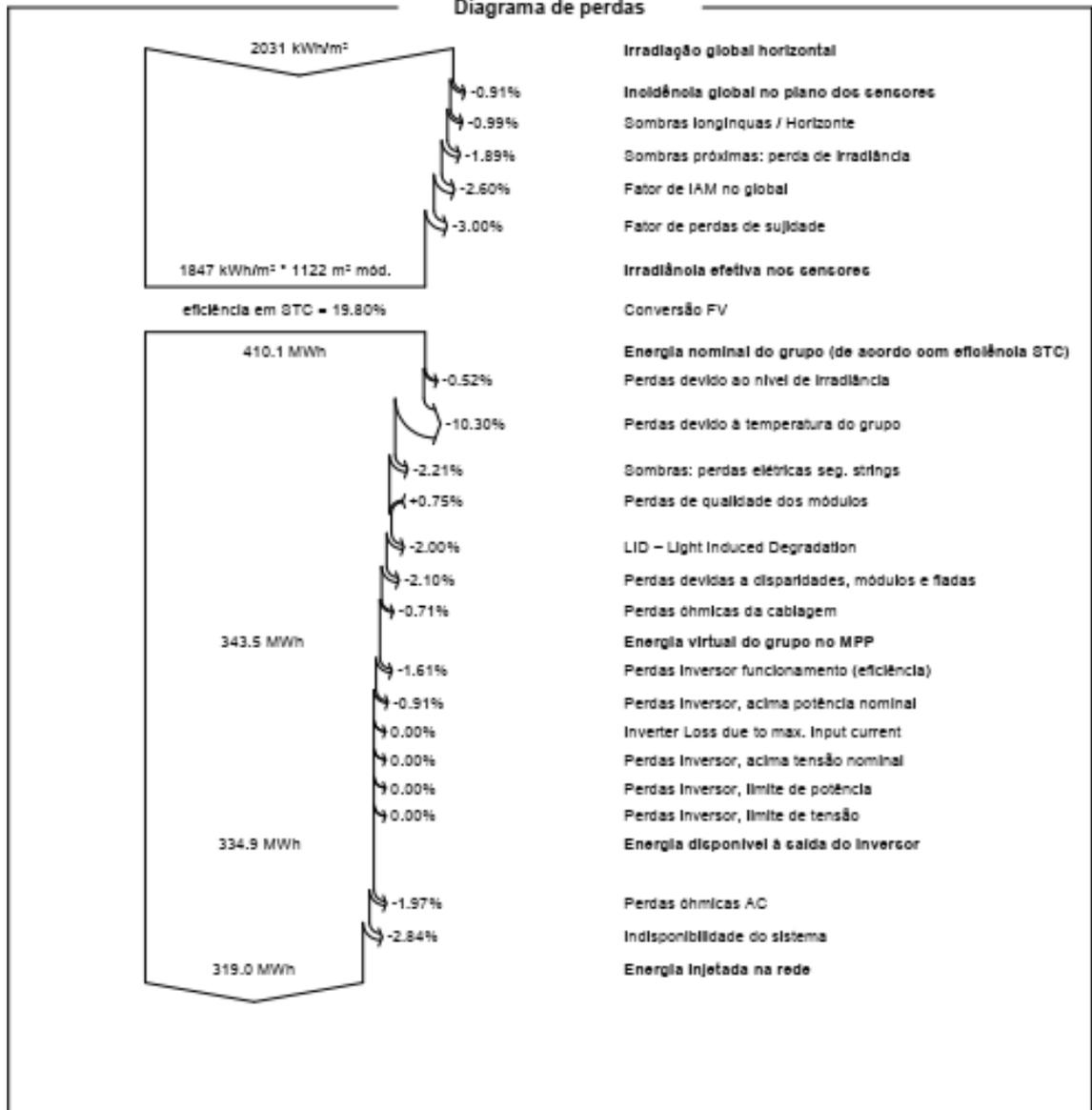
PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

### Diagrama de perdas





PVsyst V7.1.0

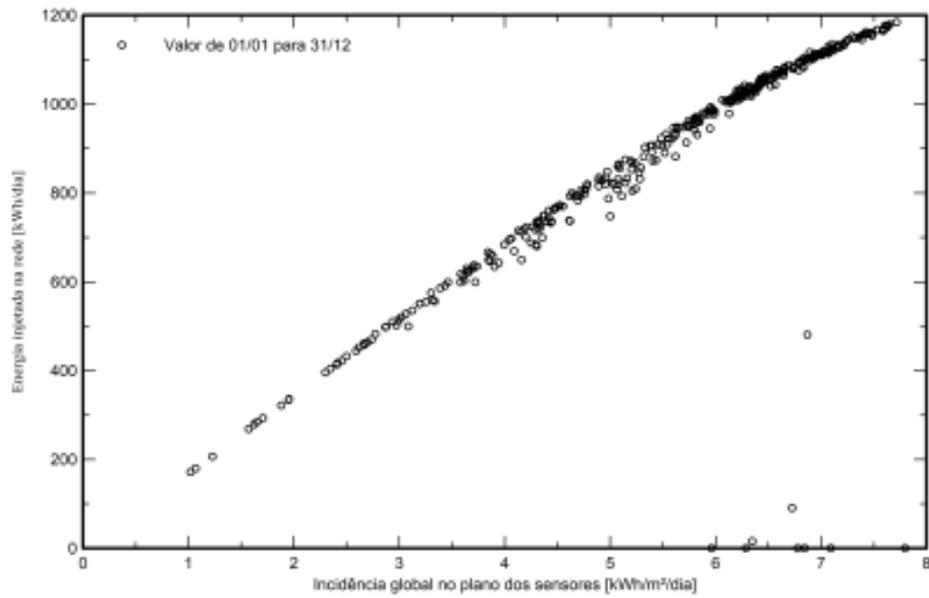
Data da simulação: 13/01/22 19:11  
com v7.1.0

Projeto: UFV CEARÁ EMERSON

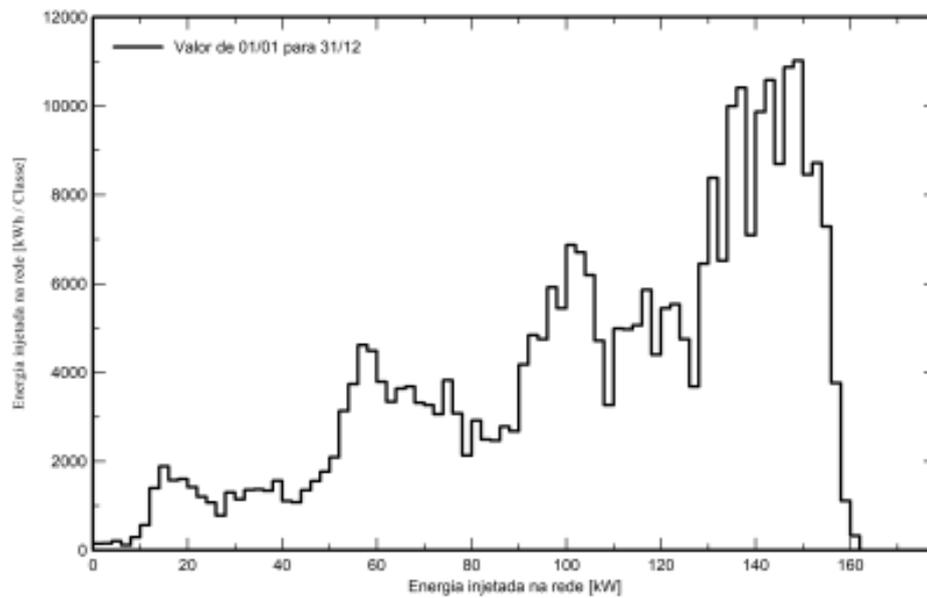
Variante: IFCE - 222 kWp - 150 kW

### Gráficos especiais

Diagrama de entrada / saída diário



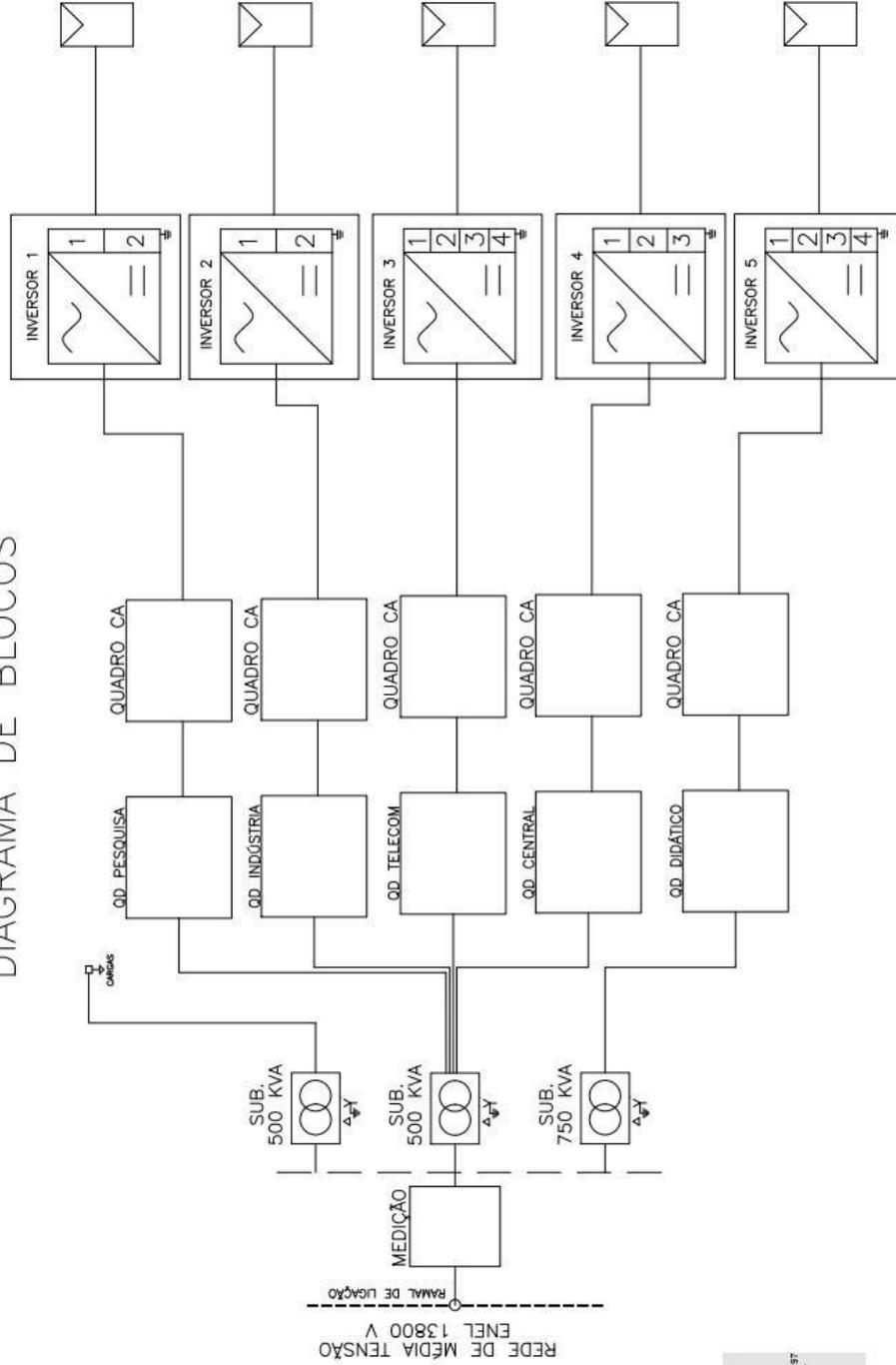
Distribuição da potência à saída do sistema







# DIAGRAMA DE BLOCOS



**ACEITO**  
COD - 00634696

LEILA CRISTINA  
JUNYKA DA  
SILVEIRA-52514810357  
2020.07.22 09:06:17 -  
0300

EMPRESA  
VERITAS



## Maximize sua Geração & Economia



Tamanho  
Compacto & Leve



Eficiência Máxima de  
Até 98.6%



DC  
Até 30% de Sobrecarga  
de Entrada CC



AC  
10% de Sobrecarga  
de Saída CA



IP65 à Prova d'água  
e Poeira

## Linha Smart DT

2 MPPTs, Trifásico

4.0kW

5.0kW

6.0kW

8.0kW

10kW

12kW

15kW

20kW

O inversor Smart DT da GoodWe é projetado especialmente para sistemas trifásicos, cobrindo uma ampla faixa de potência 4kW, 5kW, 6kW, 8kW, 10kW, 12kW, 15kW e 20kW. Os dois MPPTs integrados permitem entradas de dois arranjos a partir de diferentes orientações do telhado.

O inversor da série SDT é pequeno, leve e fácil de instalar. Adequado para ambientes externos e internos, este inversor oferece uma operação silenciosa. Além disso, a combinação de RS485 e Wi-Fi permite que o sistema seja facilmente monitorado e controlado.

## Dados Técnicos GW4000-DT GW5000-DT GW6000-DT GW8000-DT GW10KN-DT GW12KN-DT GW15KN-DT GW20KN-DT

Entrada CC	Potência Máxima de Entrada CC (W)	5200	6500	7800	9500	12000	15800	19500	26000
	Tensão Máxima de Entrada CC (V)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Faixa de Operação MPPT (V)	200-800	200-800	200-800	200-850	200-850	200-850	200-850	200-950
	Tensão de Partida (V)	180	180	180	180	180	180	180	180
	Faixa MPPT em Carga Plena (V)	195-800	240-800	285-800	380-850	480-850	380-850	480-850	460-860
	Tensão Nominal de Entrada CC (V)	620	620	620	620	620	620	620	600
	Corrente Máxima de Entrada (A)	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	22/11	22/11	22/22
	Corrente Máxima de Curto (A)	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8	27,6/13,8	27,6/13,8	27,6/27,6
	Número de MPPTs	2	2	2	2	2	2	2	2
Número de Strings por MPPT	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	2/1	2/1	2/2	
Saída CA	Potência Nominal de Saída (W)	4000 <sup>1)</sup>	5000 <sup>1)</sup>	6000 <sup>1)</sup>	8000 <sup>1)</sup>	10000 <sup>1)</sup>	12000	15000	20000
	Potência Máxima Aparente de Saída (VA)	4000	5000	6000	8000	10000	14000	16500	22000
	Tensão Nominal de Saída (V)	380, 3L/N/PE	380, 3L/N/PE	380, 3L/N/PE	380, 3L/N/PE	380, 3L/N/PE	380, 3L/N/PE	380, 3L/N/PE	380 3L/N/PE or 3L/PE
	Frequência Nominal de Saída (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
	Corrente Máxima de Saída (A)	8,5	8,5	10	12,1	15,2	21,5	24	31,9
	Fator de Potência de Saída	-1 (Ajustável 0,8 capacitivo - 0,8 indutivo)							
	THDI Nominal de Saída	<2%	<2%	<2%	<2%	<2%	<2%	<2%	<3%
Eficiência	Eficiência Máxima	98,0%	98,0%	98,0%	98,3%	98,3%	98,3%	98,3%	98,6%
	Eficiência Euro	>97,5%	>97,5%	>97,5%	>98,0%	>98,0%	>98,0%	>98,0%	>98,1%
Proteção	Monitoramento de Corrente de String FV	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	—	—	Integrado
	Proteção Anti-Ilhamento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
	Proteção de Polaridade Reversa	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
	Resistor de Detecção de Isolamento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
	Proteção Contra Surtos CC (DPS)	—	—	—	—	—	Tipo III	Tipo III	Tipo II
	Proteção Contra Surtos CA (DPS)	—	—	—	—	—	Tipo III	Tipo III	Tipo II
	Monitoramento de Corrente Residual	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
	Proteção de Sobrecorrente de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
	Proteção de Curto de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
	Proteção de Sobretensão de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Dados Gerais	Temperatura de Operação (°C)	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60
	Umidade Relativa	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
	Altitude de Operação (m)	±4000	±4000	±4000	±4000	±4000	±4000	±4000	±4000
	Resfriamento	Convecção Natural							
	Ruído (dB)	<30	<30	<30	<30	<30	<40	<40	<45
	Interface do Usuário	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED
	Comunicação	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi
	Peso (kg)	24	24	24	24	24	26	26	26
	Dimensões (Comprimento/Altura/Profundidade)(mm)	516*415*192	516*415*192	516*415*192	516*415*192	516*415*192	516*455*192	516*455*192	516*455*220
	Grau de Proteção	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Consumo Noturno Próprio (W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Topologia	Sem Transformador								
Regulamentação & Certificações	Regulamentação de Rede	VDE0126-1-1, VDE-AR-N 4105, AS4777.2, EN50438(P/L), EN50438(S/W), EN50438(R), GB3, ERDF-NCI-RES_136, IEC61727, IEC62116, CEI 0-21		VDE0126-1-1, AS4777.2, GB3, IEC61727, IEC62116, EN50438(S/W), EN50438(R), CEI		VDE0126-1-1, AS4777.2, GB3, IEC61727, IEC62116, EN50438(P/L), VDE-AR-N 4105		VDE0126-1-1, AS4777.2, GB3, IEC61727, IEC62116, EN50438(S/W), EN50438(R), CEI 0-21	
	Regulamentação de Segurança EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4, EN 61000-4-16, EN 61000-4-18, EN 61000-4-20		EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4, EN 61000-4-16, EN 61000-4-18, EN 61000-4-20		EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4, EN 61000-4-16, EN 61000-4-18, EN 61000-4-20		EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4, EN 61000-4-16, EN 61000-4-18, EN 61000-4-20	

<sup>1)</sup> Potência Máxima de operação @ de 650V

<sup>2)</sup> Para CEI 0-21 a potência nominal de saída GW4000-DT é 3600, GW5000-DT é 4500, GW6000-DT é 5400, GW8000-DT é 7200, GW10KN-DT é 9000.

## Datasheet Linha MT



Dados Técnicos	GW50K-MT	GW60K-MT	GW50KN-MT	GW60KN-MT	GW50KBF-MT	GW60KBF-MT	
<b>Dados de Entrada CC</b>							
Potência Máxima de Entrada (W)	65000	80000	65000	80000	65000	80000	
Tensão Máxima de Entrada (V)	1000	1000	1100	1100	1100	1100	
Faixa de Operação MPPT (V)	200-850	200-850	200-1000	200-1000	200-1000	200-1000	
Tensão de Partida (V)	200	200	200	200	200	200	
Tensão Nominal de Entrada (V)	620	620	620	620	620	620	
Corrente Máxima de Entrada (A)	30/30/30/20	30/30/30/30	33/33/22/22	33/33/33/33	30/30/30/30	44/44/44/44	
Corrente Máxima de Curto (A)	38/38/25/25	38/38/38/38	41,5/41,5/27,5/27,5	41,5/41,5/41,5/41,5	37,5/37,5/37,5/37,5	55/55/55/55	
Número de MPPTs	4	4	4	4	4	4	
Número de Strings por MPPT	3/3/2/2	3/3/3/3	3/3/2/2	3/3/3/3	2/2/2/2	3/3/3/3	
<b>Dados de Saída CA</b>							
Potência Nominal de Saída (W)	50000	60000	50000	60000	50000	60000	
Potência Máxima de Saída (W)	55000±57500 @415Vac	66000±69000 @415Vac	55000±57500 @415Vac	66000±69000 @415Vac	55000±57500 @415Vac	66000±69000 @415Vac	
Potência Máx. Aparente de Saída (VA)	55000±57500 @415Vac	66000±69000 @415Vac	55000±57500 @415Vac	66000±69000 @415Vac	55000±57500 @415Vac	66000±69000 @415Vac	
Tensão Nominal de Saída (V)	380, 3L/3/PE ou 3L/PE						
Frequência Nominal de Saída (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	
Corrente Máxima de Saída (A)	80	96	80	96	80	96	
Fator de Potência de Saída	-1 (Ajustável 0,8 capacitivo - 0,8 indutivo)						
THDi Nominal de Saída	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	
<b>Eficiência</b>							
Eficiência Máxima	98,7%	98,8%	98,7%	98,8%	98,8%	98,8%	
Eficiência Euro	98,3%	98,5%	98,3%	98,5%	98,3%	98,3%	
<b>Proteções</b>							
Monitoramento de Corrente de String IV	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Proteção Anti-Eramento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Proteção de Polaridade Reversa	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Monitoramento de Isolamento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Fusível CC	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Função Anti-PID Fotovoltáico	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	
Proteção Contra Surto CC (DPS)	Integrado (Tipo II)						
Proteção Contra Surto CA (DPS)	Integrado (Tipo II)						
Monitoramento de Corrente Residual	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Proteção Sobretensão de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Proteção de Curto de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Proteção de Sobretensão de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	
Monitoramento de umidade	NA	NA	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	
<b>Dados Gerais</b>							
Temperatura de Operação (°C)	-30-60	-30-60	-30-60	-30-60	-30-60	-30-60	
Umidade Relativa	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	
Altitude de Operação (m)	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	
Resfriamento	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha	
Interface do Usuário	LCD ou WiFi+APP					LED, WiFi+APP	
Comunicação	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi	RS485 ou WiFi ou PLC				
Peso (kg)	59	64	59	64	60	65	
Dimensões (C*W*P)(mm)	580*788*264	580*788*264	580*788*264	580*788*264	580*788*264	580*788*264	
Grau de Proteção	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	
Consumo Noturno Próprio (W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
<b>Topologia</b>							
Sem Transformador							
<b>Padrões e Certificações</b>							
<b>Regulamentação de Rede</b>							
IEC61727, IEC62116, IEC60908, IEC61683, EN50530, EN50438+, VDE0126-1-1A1, VDE-AR-N 4105 RD1699, RD661, RD413, UNE, AS/NZS 4777.2, DRNG/DEWA, NRS 097, G99		IEC61727, IEC62116, VDE4105, VDE0126, RD1699, RD413, RD661, EN50438, AS/NZS 4777.2, NRS 097, CEI 0-21, ERDF-NOI-RES_13E		IEC61727, IEC62116, VDE4105, V, DED126, RD1699, RD413, RD661, E, NS0438, AS/NZS 4777.2, NRS 097, CEI 0-21, ERDF-RES_13E, NEA, PEA		IEC61727, IEC62116, VDE4105, VDE0126, VDE4105, VDE0126, RD1699, RD413, RD661, RD1699, RD413, RD661, EN50438	
<b>Regulamentação de Segurança</b>							
IEC62109-1&2							
<b>Regulamentação EMC</b>							
EN6100-6-4:2007+A1:2011, EN61000-6-2:2005, EN61000-3-11:2000, EN61000-3-12:2011+AC:2013							

## Datasheet Linha MT/LV MT



Dados Técnicos	GW80KBF-MT	GW70KH-MT	GW80KH-MT	GW80K-MT	GW30KLV-MT	GW35KLV-MT	GW50KLV-MT
<b>Dados de Entrada CC</b>							
Potência Máxima de Entrada (W)	104000	91000	120000	120000	54000	63000	90000
Tensão Máxima de Entrada (V)	1100	1100	1100	1100	800	800	800
Taxa de Operação MPPT (%)	200-1000	200-1000	200-1000	200-1000	200-650	200-650	200-650
Tensão de Partida (V)	200	200	200	200	200	200	200
Tensão Nominal de Entrada (V)	800	750	800	620	370	370	370
Corrente Máxima de Entrada (A)	33/33/33/33	33/33/33/33	44/44/44/44	44/44/44/44	30/30/30/30	30/30/30/30	44/44/44/44
Corrente Máxima de Curto (A)	54/54/54/54/54	41/54/1/54/1/54	55/55/55/55	55/55/55/55	38/38/25/25	38/38/38/38	55/55/55/55
Número de MPPTs	4	4	4	4	4	4	4
Número de Strings por MPPT	3/3/3/3	3/3/3/3	4/4/4/4	4/4/4/4 [Standard] or 3/3/3/3 [Optional, Support bifacial module]	3/3/3/3	3/3/3/3	4/4/4/4
<b>Dados de Saída CA</b>							
Potência Nominal de Saída (W)	80000	70000	80000	80000	30000	36000	50000
Potência Máxima de Saída (W)	88000	77000	88000	88000	28800@100VAC; 30000@220VAC	34500@208VAC; 36000@220VAC	47300@208VAC; 50000@220VAC
Potência Máx. Aparente de Saída (VA)	88000	77000	88000	88000	33000@240VAC	39900@240VAC	55000@240VAC
Tensão Nominal de Saída (V)	540, 3L/PE	500, 3L/PE	540, 3L/PE	380, 3L/NE ou 3L/PE	220	220	220
Frequência Nominal de Saída (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Corrente Máxima de Saída (A)	94.1	89	94.1	133	80	96	133
Fator de Potência de Saída	-1 (Ajustável 0,8 capacitivo - 0,8 indutivo)						
THDi Nominal de Saída	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
<b>Eficiência</b>							
Eficiência Máxima	99,0%	99,0%	99,0%	98,8%	98,7%	98,8%	98,7%
Eficiência Euro	98,4%	98,4%	98,4%	98,3%	98,2%	98,2%	98,3%
<b>Proteções</b>							
Monitoramento de Corrente de String (I)	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção Anti-Rammento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção de Polaridade Reversa	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Monitoramento de Isolamento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Fusível CC	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Função Anti-PID Fotovoltaico	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Proteção Contra Surtos CC (DPS)	Integrado (Tipo II)						
Proteção Contra Surtos CA (DPS)	Integrado (Tipo II)						
Monitoramento de Corrente Residual	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção Sobrecorrente de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção de Curto de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção de Sobretensão de Saída	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
monitoramento de umidade	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	-	-	-
<b>Dados Gerais</b>							
Temperatura de Operação (°C)	-30-60	-30-60	-30-60	-30-60	-30-60	-30-60	-30-60
Umidade Relativa	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
Altitude de Operação (m)	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000
Resfriamento	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha	Ventoinha
Interface do Usuário	LED, WiFi+APP	LCD ou WiFi+APP	LED, WiFi+APP	LED, WiFi+APP	LCD ou WiFi+APP		LED, WiFi+APP
Comunicação	RS485 ou PLC	RS485 ou WiFi ou PLC	RS485 ou PLC	RS485 ou WiFi, PLC (Opcional)	RS485 ou WiFi		RS485 ou WiFi, PLC (Opcional)
Peso (kg)	65	60	65	70	59	64	70
Dimensões (C*A*P)(mm)	586*788*264	586*788*264	586*788*267	586*788*267	586*788*264	586*788*264	586*788*267
Grau de Proteção	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Consumo Potência Própria (W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Topologia	Sem Transformador						
<b>Padrões e Certificações</b>							
Regulamentação de Rede	IEC61727, IEC62116, VDE4105, VDE0126, RD1699, RD413, RD661, EN50438			VDE-AR-N 4105, IEC61727, IEC62116		-	-
Regulamentação de Segurança	IEC62109-1&2						
Regulamentação EMC	EN 6100-6-4:2007+A1:2011, EN 61000-6-2:2005, EN 61000-3-11:2000, EN 61000-3-12:2011+AC:2013			EN51000-6-1, EN51000-6-2, EN51000-6-3, EN51000-6-4		-	-

## Harvest the Sunshine

**Mono**

### 395W PERC Module

JAM72S09 375-395/PR Series

#### Introduction

Powered by high-efficiency PERCium cells, this series of high-performance modules provides the most cost-effective solution for lowering the LCOE of any PV systems large or small.



5 busbar solar cell design



Higher output power



Excellent low-light performance



Lower temperature coefficient

#### Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty



■ JA Linear Power Warranty ■ Industry Warranty

#### Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- OHSAS 18001: 2007 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



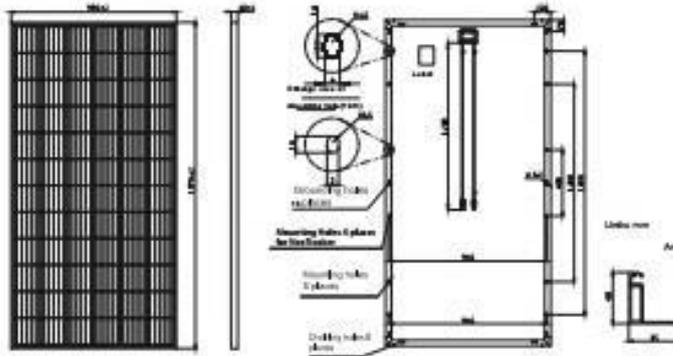
**JA SOLAR**

[www.jasolar.com](http://www.jasolar.com)

Specifications subject to technical changes and tests.  
JA Solar reserves the right of final interpretation.



**MECHANICAL DIAGRAMS**



**SPECIFICATIONS**

Cell	Monocr
Weight	22.3kg±3%
Dimensions	1970±2mm×986±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm <sup>2</sup>
No. of cells	72(6×12)
Junction Box	IP67, 3 diodes
Connector	QC 4, 10-35
Packaging Configuration	27 Per Pallet

Remaining customized frame color and cable length available upon request.

**ELECTRICAL PARAMETERS AT STC**

TYPE	JAM72S09 -375/PR	JAM72S09 -380/PR	JAM72S09 -385/PR	JAM72S09 -390/PR	JAM72S09 -395/PR
Rated Maximum Power(P <sub>max</sub> ) [W]	375	380	385	390	395
Open Circuit Voltage(V <sub>oc</sub> ) [V]	48.47	48.75	49.04	49.35	49.64
Maximum Power Voltage(V <sub>mp</sub> ) [V]	39.27	39.59	39.90	40.21	40.48
Short Circuit Current(I <sub>sc</sub> ) [A]	10.06	10.12	10.17	10.22	10.27
Maximum Power Current(I <sub>mp</sub> ) [A]	9.55	9.60	9.65	9.70	9.76
Module Efficiency (%)	19.0	19.3	19.5	19.8	20.0
Power Tolerance:	0~+5W				
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub> (α <sub>Isc</sub> )	+0.060%/°C				
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub> (α <sub>Voc</sub> )	-0.300%/°C				
Temperature Coefficient of P <sub>max</sub> (α <sub>Pmax</sub> )	-0.370%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G				

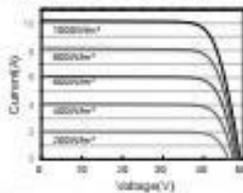
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.  
\*For flat-roof installations static loading performance front load measures 3400Pa, while back load measures 2400Pa.

**ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT**

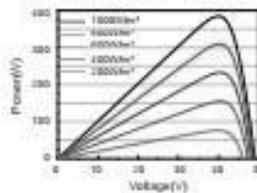
TYPE	JAM72S09 -375/PR	JAM72S09 -380/PR	JAM72S09 -385/PR	JAM72S09 -390/PR	JAM72S09 -395/PR	OPERATING CONDITIONS
Rated Max Power(P <sub>max</sub> ) [W]	278	281	285	289	292	Maximum System Voltage 1000V/1500V DC(IEC)
Open Circuit Voltage(V <sub>oc</sub> ) [V]	45.86	46.15	46.47	46.78	47.09	Operating Temperature -40°C~+85°C
Max Power Voltage(V <sub>mp</sub> ) [V]	37.05	37.34	37.64	37.92	38.21	Maximum Series Fuse 20A
Short Circuit Current(I <sub>sc</sub> ) [A]	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	Maximum Static Load,Front* 5400Pa
Max Power Current(I <sub>mp</sub> ) [A]	7.49	7.53	7.57	7.61	7.65	Maximum Static Load,Back* 3400Pa
NOCT	Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					NOCT 45±2°C
						Application Class Class A

**CHARACTERISTICS**

Current-Voltage Curve JAM72S09-385/PR



Power-Voltage Curve JAM72S09-385/PR



Current-Voltage Curve JAM72S09-385/PR

