



**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
CURSO DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL**

**ELVITON MARQUES DE SOUSA**

**ESTACIONAMENTO SOLAR NO IFAM-CMDI: Análise de Viabilidade  
Técnica de Implantação usando o *PVSyst***

**MANAUS – AM  
2023**

**ELVITON MARQUES DE SOUSA**

**ESTACIONAMENTO SOLAR NO IFAM-CMDI: Análise de Viabilidade  
Técnica de Implantação usando o *PV Syst***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM-CMDI), como requisito para obtenção do diploma do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial.

Orientador: Prof. MSc Carlos Fontinelle  
Coorientador: Prof. MSc Sarley Silva

MANAUS – AM  
2023

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S725e	<p>Sousa, Elvton Marques de. Estacionamento solar no IFAM-CMDI: análise de viabilidade técnica de implantação usando o PVSyst / Elvton Marques de Sousa. — Manaus, 2023. 60f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, 2023. Orientador: Prof.º Carlos Gomes Fontinelle, Me. Coorientador: Prof.º Sarley de Araújo Silva, Me.</p> <p>1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Sustentabilidade. 3. Sistema On Grid. I. Fontinelle, Carlos Gomes. II. Silva, Sarley de Araújo. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p>
CDD 621.381	

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

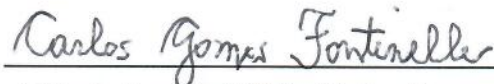
ELVITON MARQUES DE SOUSA

**ESTACIONAMENTO SOLAR NO IFAM-CMDI: Análise de Viabilidade Técnica  
de Implantação usando o PVSystem**

Trabalho de Conclusão de Curso  
aprovado como requisito parcial para  
obtenção do título de Tecnólogo no curso  
de Tecnologia em Eletrônica Industrial  
do Instituto Federal do Amazonas –  
IFAM.

Orientador: Prof. MSc Carlos Fontinelle  
Coorientador: Prof. MSc Sarley Silva

Aprovado em 07 de abril de 2023



Orientador: Prof. MSc Carlos Gomes Fontinelle

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM



Coorientador: Prof. MSc Sarley de Araujo Silva

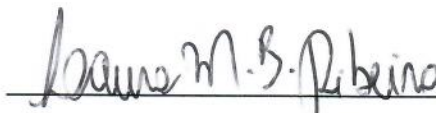
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM

Banca Examinadora:



Prof. Especialista Fabian Bezerra de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM



Profª. Laura Michaela Batista Ribeiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM

MANAUS – AM

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Gratidão a Deus por estar comigo em todo o meu caminhar, por ser a luz que me guia e sempre guiará os meus passos.

À minha esposa Maria Luiza e minha filha Ana Luísa por me apoiarem na elaboração deste trabalho e que por muitas vezes fiquei ausente para que me dedicasse inteiramente na elaboração do mesmo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) que ofereceu uma valorosa oportunidade para o meu ingresso num curso superior.

Ao prof. Mestre Carlos Gomes Fontinelle pelo incentivo, paciência e, sem dúvida, pela condução na orientação deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao Prof. MSc. Sarley Silva pela valorosa disponibilidade, ajuda e incentivo.

À Coordenação do Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, professora Laura Michaella pela paciência, atenção e acima de tudo pelo empenho que vem fazendo na gestão de coordenação deste curso no IFAM-CMDI.

E por fim agradeço a todos aqueles que de forma direta ou indiretamente colaboraram para que este trabalho pudesse ser finalizado.

## RESUMO

O uso de energias renováveis vem sendo utilizada cada vez mais no Brasil e no mundo, sobretudo a energia solar para geração de energia elétrica. Essa é uma tendência observada atualmente e um dos grandes fatores para isso é a possibilidade de se obter uma grande redução de custo com o uso da energia elétrica fotovoltaica comparada com a energia elétrica tradicional. Além da facilidade de se produzir uma energia limpa, sem barulho em sua geração tem-se a praticidade de ser instalada em qualquer local que se tenha luz do Sol e disponibilidade de espaço para a instalação do sistema fotovoltaico, podendo ser em telhados, terrenos e até estacionamentos. Esse último local encontra cada vez mais adeptos em seu uso, porque ao passo que protege os carros da ação do Sol, também gera energia elétrica através de sua cobertura com painéis fotovoltaicos auxiliando também na matriz energética brasileira. Em 2022, a participação da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira foi de 4,3%. Em 09/03/2023, o Brasil atingiu a marca de 6.044 MW, um recorde na geração de energia solar. Isso acontece em meio a tantas mudanças climáticas que exigem cada vez mais soluções de um desenvolvimento sustentável e investimentos em recursos para o uso de energias renováveis como a energia fotovoltaica. Neste contexto, este estudo pretende analisar a viabilidade técnica da implantação de um estacionamento solar fotovoltaico conectado à rede elétrica para transformação da energia solar em energia elétrica no IFAM-CMDI, utilizando o software *PVSystem*, uma ferramenta computacional para comprovar os valores numéricos do estudo e auxílio no desenvolvimento de projeto fotovoltaico. A metodologia aplicada foi por meio de um estudo de caso sobre a implantação do sistema solar fotovoltaico conectado à rede (*on grid*) com revisão bibliográfica sobre o assunto, coleta de dados para análise de dimensionamento do sistema, leitura e interpretação de dados técnicos dos componentes do sistema. Os resultados obtidos do estudo técnico de implantação do estacionamento solar comprovado por meio do *PVSystem* obteve um ótimo resultado, concluindo que é viável tecnicamente a implantação de estacionamento solar no IFAM-CMDI.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar Fotovoltaica. Sustentabilidade. Estacionamento solar. Sistema *On Grid*.

## ABSTRACT

The use of renewable energies is being used more and more in Brazil and in the world, especially solar energy to generate electricity. This is a trend currently observed and one of the major factors for this is the possibility of obtaining a large cost reduction with the use of photovoltaic electricity detected with traditional electricity. In addition to the ease of producing clean energy, without noise in its generation, it has the practicality of being installed in any place that has sunlight and availability of space for the installation of the photovoltaic system, which can be on roofs, land and to parking lots. This last location is increasingly protected in its use, because while it protects cars from the sun's action, it also generates electricity through its cover with photovoltaic panels, also helping in the Brazilian energy matrix. In 2022, the share of photovoltaic energy in the Brazilian energy matrix was 4.3%. On 09/03/2023, Brazil consumed the mark of 6,044 MW, a record in solar energy generation. This happens in the midst of so many climate changes that increasingly face sustainable development solutions and investments in resources for the use of renewable energies such as photovoltaic energy. In this context, this study intends to analyze the technical feasibility of implementing a solar photovoltaic parking lot connected to the electrical grid to transform solar energy into electrical energy in the IFAM-CMDI, using the *PVSyst* software, a computational tool to verify the numeric values of the study and assistance in the development of a photovoltaic project. The methodology applied was through a case study on the implementation of the photovoltaic solar system connected to the grid (on grid) with a bibliographical review on the subject, data collection for system sizing analysis, reading and interpretation of technical data of the system components. The results obtained from the technical study of the implementation of solar parking optimized through *PVSyst* obtained an excellent result, concluding that the implementation of solar parking at the IFAM-CMDI is technically feasible.

**KEYWORDS:** Photovoltaic Solar Energy. Sustainability. Solar parking. On Grid System.

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comparativo do Consumo de Energia Elétrica de Fontes Renováveis e Não Renováveis.....	14
Figura 2 - Geração de Energia Renovável no Ano de 2022 .....	14
Figura 3 - Tipos de Bandeiras Tarifárias .....	16
Figura 4 - Produção de Energia Renovável no Brasil e no Mundo .....	17
Figura 5 - Efeito Fotovoltaico .....	21
Figura 6 - Componentes de Um Sistema Fotovoltaico do Tipo Off-Grid .....	22
Figura 7 - Componentes de Um Sistema Solar Fotovoltaico <i>On-Grid</i> .....	23
Figura 8 - Diferença de Um Inversor <i>String</i> para Micro Inversor .....	24
Figura 9 - Emissões de CO <sub>2</sub> Emitida Pela Matriz Energética Brasileira.....	25
Figura 10 - Evolução da Geração Distribuída desde 2012 A 2022 .....	26
Figura 11 - Estacionamento Solar no Condomínio Emalphaville Em São Paulo (SP) .....	27
Figura 12 – Aplicação do Uso <i>Carport</i> Solar.....	27
Figura 13 – Imagem de Satélite do IFAM-CMDI .....	30
Figura 14 – Uso do <i>Carport</i> Solar em Estacionamento.....	31
Figura 15 – Estrutura de um <i>Carport</i> Solar .....	31
Figura 16 - Estudo do Local para a Instalação dos Painel Solares .....	34
Figura 17 - Irradiação Solar Diária Média.....	39
Figura 18 - Especificações Técnica Do Inversor .....	42
Figura 19 – Escolha do Painel e Inverso .....	52
Figura 20 - Traçado da Linha do Horizonte .....	52
Figura 21 - Relatório de Simulação.....	53
Figura 22 - Resultado Da Geração De Energia .....	53
Figura 23 – Estudo de Perda no Sistema Fotovoltaico .....	54
Figura 24 – Diagrama de Perda no Sistema Fotovoltaico .....	54
Figura 25 - Layout em 3D do Sistema Proposto .....	55
Figura 26 - Layout em 3D do Sistema Proposto .....	55
Figura 27 - Diagrama Esquemático de Ligação Painel e Inversor .....	56
Figura 28 - Diagrama Esquemático de Ligação Painel e Inversor .....	56
Figura 29 – Area de Instalação dos Inversores.....	57
Figura 30 - Area de Instalação dos Inversores .....	57



## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Dados da Localização do Estudo .....	34
Tabela 2 - Energia Consumida Anualmente Pelas Lâmpadas do Estacionamento .....	36
Tabela 3 - Especificações Técnicas Do Modulo .....	37
Tabela 4 – Especificações Técnicas do Pannel Quanto à Temperatura .....	46
Tabela 5 – Tabela de Perdas na Conversão do Sistema .....	48
Tabela 6 - Produção de Energia Elétrica Produzida ao Longo de um Ano .....	48
Tabela 7 - Geração do Sistema Fotovoltaico em um Ano .....	51
Tabela 8 – Comparação entre o sistema Calculado e Simulado ( <i>PVSyst</i> ).....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica  
ABRACEEL Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia  
ABSOLAR Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica  
BEN Balanço Energético Nacional  
BME Boletim Mensal de Energia  
CC Corrente Contínua  
CA Corrente alternada  
CDM Consumo Diário Médio  
CMDI Campus Manaus Distrito Industrial  
CRESESB Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito  
DOU Diário Oficial da União  
EUA Estados Unidos da América  
EPE Empresa de Pesquisa Energética  
FDI Fator de Dimensionamento do Inversor  
GD Geração Distribuída  
GEE Gases de Efeito Estufa  
*HiKu High Power mono perc module*  
*IEA International Energy Agency - Agência Internacional de Energia*  
IFAM Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas  
IPCA Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo  
*LED Light Emitter Diode* ou Diodo Emissor de Luz  
*MPPT Maximum Power Point Tracking*  
MMGD Micro e Minigeração Distribuída  
MME Ministério das Minas e Energia  
NBR Norma Brasileira Regulamentadora  
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico  
*PEML Power Electronics and Module Level* (Eletrônica de Potência e Nível de Módulo)  
*SAM System Advisor Model*  
SFCR Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede  
*STC Standard Testing Conditions* (Condições Padrões de Teste)

TD Taxa de Desempenho

TUSD Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição

UNED Unidade de Ensino Descentralizada

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	PROBLEMÁTICA .....	15
1.2	JUSTIFICATIVA .....	17
1.3	OBJETIVOS .....	18
1.4	HIPÓTESE .....	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	20
2.2	RADIAÇÃO SOLAR .....	21
2.3	SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	22
<b>2.3.1</b>	<b>Sistema Fotovoltaico Off-Grid.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Sistema Fotovoltaico <i>On-Grid</i> .....</b>	<b>22</b>
2.4	INVERSORES.....	23
2.5	MICROINVERSORES .....	24
2.6	EMISSÕES DE GEE.....	25
2.7	LEIS E NORMAS DA ENERGIA SOLAR.....	25
2.8	ESTACIONAMENTO SOLAR INSTALADOS NO BRASIL .....	26
2.9	SOFTWARES DE DIMENSIONEMTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	28
<b>2.9.1</b>	<b><i>Sketchup</i> .....</b>	<b>28</b>
<b>2.9.2</b>	<b><i>Sundata</i> .....</b>	<b>28</b>
<b>2.9.3</b>	<b><i>PVSyst</i>.....</b>	<b>29</b>
3	METODOLOGIA.....	30
4	DIMENSIONAMENTO DO SFCR.....	33
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	33
4.2	ASPECTO TÉCNICO (CALCULADO E SIMULADO) .....	35
<b>4.2.1</b>	<b>Aspecto Técnico Calculado .....</b>	<b>35</b>
4.2.1.1	Levantamento do Consumo do Estacionamento .....	35
4.2.1.2	Escolha do Painel Fotovoltaico .....	36
4.2.1.3	Números De Painéis (Np) .....	37
4.2.1.4	Potência calculada do sistema fotovoltaico ( $P_{SFV}$ ).....	38
4.2.1.5	Banco de dados da radiação solar utilizada.....	39

4.2.1.7	Dimensionamento Do Inversor .....	40
4.2.1.8	Compatibilidade entre o inversor e o gerador fotovoltaico.....	44
4.2.1.10	Estudo das perdas na conversão do sistema .....	48
4.2.1.11	Produção De Energia Efetiva .....	48
4.2.1.12	Distribuição Dos Módulo Por Inversor .....	48
4.2.1.13	Resumo Do Sistema Do Estacionamento Solar .....	49
<b>4.2.2</b>	<b>Aspecto Técnico Simulado no PVSystem</b> .....	<b>51</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Configuração Do Sistema</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Casa De Abrigo Inversores</b> .....	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b> .....	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>60</b>
	REFERÊNCIAS .....	61
	ANEXO A — <i>Datasheet RSM156-6-425-445M-G2.3-Plus-IEC1500V-40mm-2019H2-3-EN</i> .....	65
	ANEXO B — <i>Datasheet 25-36kW I Trifásico I 3 MPPTs</i> .....	67
	.....	67
	ANEXO C — Relatório da Simulação .....	68
	ANEXO D — Tutorial PVSystem .....	81

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Tolmasquim (2016), por muito tempo, as fontes de energia que vêm de combustíveis fósseis dominaram o mercado, sem que outras tecnologias alternativas de energia renováveis disputassem mais espaço nesse mercado tão dominado pelas energias não renováveis. No entanto, isso vem mudando com o passar dos anos, em parte pelas inúmeras crises que o setor destas fontes de energia vem sofrendo e o mundo vem desenvolvendo fontes de energias renováveis e limpa como uma alternativa para abastecer o mercado energético. De acordo com Vian et al. 2021, a atenção mundial com o meio ambiente incentiva a pesquisa e a instalação de fontes de geração de energia elétrica sustentáveis que não agridam o planeta, dentre as quais destacam-se aquelas cujas fontes primárias são a energia dos ventos e a energia solar. O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio, (Cepel - Cresesb, 2004), além de ser considerada uma energia renovável.

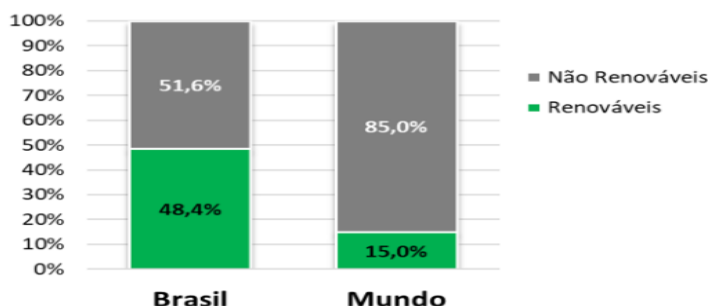
Segundo Pereira *et al.* 2017, uma das questões fundamentais para o desenvolvimento sustentável está na inovação e desenvolvimento de tecnologias de conversão e aproveitamento de recursos energéticos naturais e que o aproveitamento do recurso solar no Brasil se apresenta como uma excelente opção para complementação de fontes convencionais de energia já consolidadas, como as hidroelétricas.

Segundo Tolmasquim (2016), o Brasil está situado em uma região privilegiada, com uma incidência mais vertical dos raios solares e elevados índices de irradiação em quase todo território nacional, devido a sua localização próxima a linha do Equador, que permite que haja pouca variação de incidência solar ao longo do ano.

Desta forma, a energia solar vem conquistando cada vez mais espaço no mercado mundial e se tornando cada vez mais popular e promissora deste setor por ser uma energia renovável e limpa, uma grande aliada na preservação ambiental sem emissões de poluentes na atmosfera, além também de funcionar como uma válvula de escape para as crises energéticas que vêm ou outra assombra os brasileiros, como foi o caso da crise hídrica de 2021 que afetou a produção de energia elétrica no Brasil e que forçou o país a lançar mão das usinas termoelétrica.

Fazendo um comparativo do consumo de energia elétrica de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo é possível verificar que no Brasil quase a metade do que se é consumido de energia elétrica tem em sua origem em fontes renováveis, seja hidroelétrica, solar ou eólica. Na Figura 1 é demonstrado esse comparativo.

Figura 1 - Comparativo do Consumo de Energia Elétrica de Fontes Renováveis e Não Renováveis no Brasil e no Mundo



Fonte: EPE, 2023.

Dados do MME (2022), afirmam que houve um expressivo aumento na geração solar (mais de 78%), na geração de energia eólica (mais de 12%) e hidráulica (mais de 16%) em comparação com o ano de 2021. Analisando os dados da Figura 2, onde é demonstrado a comparação da geração de energia renovável entre o ano de 2021 e 2022, é possível verificar que houve uma queda na participação das usinas termoeletricas, carvão e a gás natural e isso porque houve uma grande participação da geração de energia renovável no ano de 2022.

Figura 9 – Comparação da Geração de Energia Renovável no Ano de 2021 e 2022



Fonte: MME, 2022.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar) (2022), o mercado de energia solar fotovoltaica está em franco crescimento no Brasil, estimulado na maioria pela recente crise hídrica e constantes altas nas contas de luz para

residências e estabelecimentos industriais e comerciais e pelo temor de apagões. Este crescimento fez o país atingir 13 giga Watt (GW) de potência operacional de fonte solar fotovoltaica e sistema de médio e pequeno portes instalados em telhados, fachadas, terrenos, estacionamentos e em grandes usinas centralizadas.

Atualmente, segundo Canal Solar (2021), o uso de *carport* solar, que nada mais é do que abrigo coberto por painel solares para veículos, estão cada vez mais em alta em diversos seguimentos do mercado de energia solar, como hipermercado, shoppings, centros comerciais, faculdades e condomínios residenciais.

## 1.1 PROBLEMÁTICA





Segundo dados do Portal Solar, o aumento do custo da energia elétrica para os consumidores no ano de 2021 teve um reajuste de mais de 7% no preço da conta de luz e segundo o mesmo relata ainda que o aumento previsto para 2022 é de 21,04% e a causa disso é a baixa quantidade de chuvas entre 2020 a 2021 que causaram naquele ano uma crise energética e que culminou na criação de uma Bandeira de Escassez Hídrica no qual aumentou o valor da fatura em R\$ 14,20 para cada 100 kWh consumidos onde vigorou até abril de 2022.

Além da Bandeira de Escassez Hídrica, ainda se tem 4 tipos de bandeiras vigorando no sistema tarifário de energia elétrica. Criada em 2015 pela ANEEL devido à crise energética daquele ano devido uma escassez de chuva que atingiu o país e também para compensar os altos custos para se manter as termoeletricas em funcionamento. Após o ano de 2015 ainda se encontram em vigor essas bandeiras tarifaria e atualmente a aplicação destas bandeiras estão fortemente ligadas as condições favoráveis ou não de geração de energia.



Na Figura 3 é demonstrado os tipos de bandeiras tarifárias.

Figura 17 - Tipos de Bandeiras Tarifárias

	Bandeira verde – condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo
	Bandeira amarela – condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,015 para cada kWh consumidos
	Bandeira vermelha, patamar 1 – condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada kWh consumidos
	Bandeira vermelha, patamar 2 – condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,045 para cada kWh consumidos

Fonte: FGV Energia, 2016.

Outro fator pertinente é que apesar do Brasil dispor de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, como as hidrelétricas, ainda é comum se dispor das usinas termelétricas para suprir as necessidades de consumo, além do que os usos de tais usinas são maléficis ao meio ambiente por emitirem, na queima de combustíveis fósseis, gases tóxicos e poluentes que hoje conhecemos pelos gases de efeito estufa (GEE). Este tipo de procedimento e manobra por parte do governo, não só não resolve o problema da crise de energia como também são muito caras para se manter esse tipo de geração de energia.

De acordo com um levantamento realizado pela Abraceel (2022), mostra que, nos últimos 7 anos, a conta de luz dos brasileiros aumentou muito acima da inflação no período. A tarifa de energia elétrica residencial teve um aumento médio anual de 16,3% entre 2015 e 2021, enquanto o IPCA teve uma variação de 6,7% ao ano, aumento de, 237% da inflação.

Em 2021, o IPCA teve uma variação de 10,06% enquanto a tarifa de energia elétrica aumentou 21,21%, representando um impacto de 0,98 pontos percentuais na inflação do ano.

Além de tudo isso, existe um Projeto de Lei aprovado pelo Senado Federal de núm. 317 de 215(PLS 317/215) que determina sobre a obrigatoriedade do uso de energia solar em prédios públicos da União, incluindo Escolas, Institutos e Universidades.

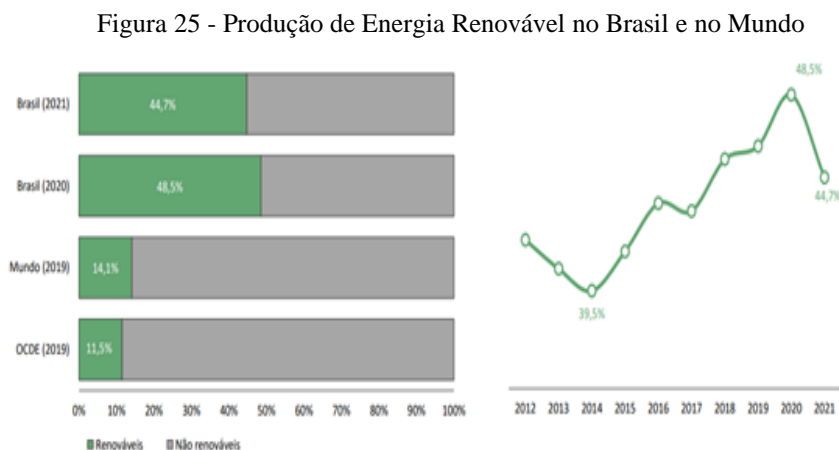
Diante de todos os dados apresentados sobre a crise energética e como consequência o aumento da tarifa elétrica e também os bons resultados obtidos pelo sistema já instalados de geração de energia solar, se pensou como uma alternativa e no qual é objeto de estudo deste trabalho, a implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica (*On Grid*) na área do estacionamento do IFAM-CMDI para a geração de energia elétrica a ser

utilizada no consumo da iluminação do estacionamento e o excesso que por ventura não, seja consumida ficará submetida a inserção diretamente na rede elétrica interna da Instituição para ser descontado o crédito de energia na fatura mensal paga pelo uso da energia elétrica tradicional.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O uso de energias renováveis para auxílio na matriz energética vem sendo cada vez mais usada e hoje é uma tendência e a energia solar vem se mostrando bastante atrativa para essa finalidade. No Brasil ela vem ganhando espaço e se tornando uma verdadeira aliada na produção de energia renovável, além de ser uma aliada ao sistema ambiental.

Conforme dados do EPE (2022), a participação de energia renováveis na matriz energética foi marcada pela queda da oferta de energia hidráulica, associada a escassez hídrica e ao acionamento de usinas termoeletricas. Na Figura 4 é demonstrado a produção de energia renovável.



Fonte: EPE, 2022.

Segundo dados da ONS (2023), a produção de energia solar instantânea atingiu 1.421 MW, às 11h02 da sexta-feira, 26/08, o que representa 3,6% da demanda da região produtora. O melhor registro até então era de 1.373 MW, em 23 de agosto de 2022. Em 29/08 de 2022, o resultado inédito na geração média de energia solar no Sudeste foi divulgado. O número de 485 MW médios, que corresponde a 1,3% da demanda da região, ante uma marca anterior de 482 MW, foi atingido no dia 15 de agosto deste ano.

### 1.3 OBJETIVOS

#### **GERAL:**

✓ Analisar a viabilidade técnica de implantação de um sistema solar fotovoltaico conectados à rede (*on grid*) no estacionamento do IFAM - CMDI.

#### **ESPECÍFICOS:**

Os objetivos específicos são:

- ✓ Analisar o histórico de consumo energético do IFAM-CMDI;
- ✓ Estimar o nível de insolação nas áreas de cobertura do estacionamento;
- ✓ Aplicar a Lei 14.300/2022 - Marco Legal da Geração Distribuída no Brasil;
- ✓ Dimensionar os equipamentos de geração de energia solar fotovoltaica (módulos fotovoltaicos) e os equipamentos de condicionamento de potência (inversores solares);
- ✓ Quantificar a produção de energia mensal, anual e final (vida útil) de um sistema de energia solar fotovoltaico;
- ✓ Mensurar a quantidade de energia gerada pelo sistema utilizando o *PVSyst*;

### 1.4 HIPÓTESE

Para os objetivos deste trabalho, foi levantada a seguinte hipótese:

Hipótese: O Estacionamento Solar é viável tecnicamente para haver um investimento por parte do IFAM-CMDI neste setor?

### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho refere-se ao estudo de análise técnica, para a implantação de um estacionamento solar no IFAM-CMDI na geração de energia elétrica conectado à rede de distribuição da Manaus Energia. Este estudo está dividido em seis tópicos.

Tópico 1: Neste capítulo é apresentado a introdução, a problemática e a justificativa do projeto, os objetivos gerais; objetivos específicos e uma hipótese.

Tópico 2: Neste capítulo é apresentado o referencial teórico

Tópico 3: É apresentado; a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto

Tópico 4: Apresenta o dimensionamento do projeto fotovoltaico com equacionamento matemático e comprovação por meio de programa de simulação computacional *PVSyst*

Tópico 5: É apresentado a Análise e Discussão dos Resultados.

Tópico 6: Considerações Finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Planeta terra está em constante movimento e estes movimento são responsáveis por diversos fenômenos, dentre eles podemos destacar o movimento de translação que é o movimento que a terra faz em torno do Sol.

Segundo Cresesb 2006, o nosso planeta, ao girar anualmente em torno do Sol, apresenta uma trajetória elíptica, com uma inclinação aproximada de  $23,5^\circ$  em relação ao plano equatorial. Essa inclinação faz com que a altura do sol varie no horizonte em comparação com a mesma hora, ao longo dos dias e assim dificultando o cálculo da posição do sol em um determinado momento.

### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

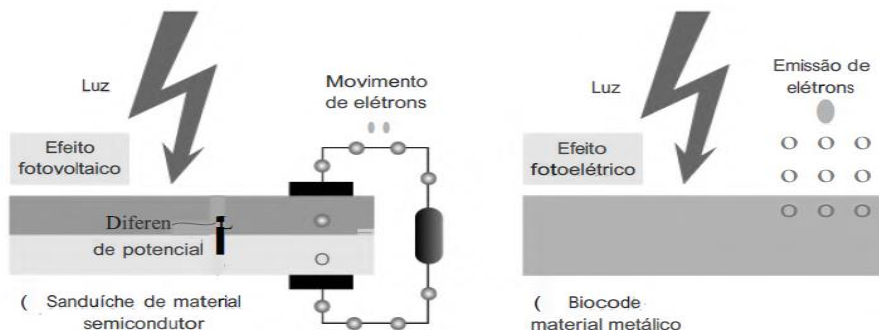
Segundo Villalva e Gazoli (2012, p. 13), a energia solar fotovoltaica tem uma característica única, ela pode ser usada em qualquer local, gerando eletricidade no próprio ponto de consumo, sem a necessidade de uso de meio de transporte de energia de outro lugar, como o uso de linhas de transmissão ou redes de distribuição.

A energia solar é considerada uma fonte de energia alternativa, renovável, limpa e sustentável conforme o site Portal Solar (2022).

Pinho; Galdino, (2014, p. 50), define a energia solar como sendo a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). Villalva e Gazoli (2012, p. 65), define este efeito como o que ocorre quando a luz ou a radiação eletromagnética do sol, incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas.

Na Figura 5 é demonstrado o efeito fotovoltaico x efeito fotoelétrico.

Figura 33 - Efeito Fotovoltaico



Fonte: Vilalva e Gazoli, 2012.

Segundo Cresesb (2006), o sol fornece à atmosfera da Terra  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia anualmente. Este é um valor bastante significativo e que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial. Levando ao entendimento que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar é também uma fonte inesgotável de energia, com grande potencial de utilização através de sistemas de captação e conversão noutras formas de energia (térmica, elétrica, etc.).

## 2.2 RADIAÇÃO SOLAR

Segundo Villalva e Gazoli, (2012), a radiação solar sofre várias mudanças à medida que passa pela atmosfera da Terra e suas características mudam conforme a espessura da camada de ar e da composição da atmosfera, incluindo ar e partículas em suspensão, como vapor d'água e poeira.

De acordo com Tolmasquim (2016), O Brasil está localizado em uma área com maior proporção de raios solares na direção vertical e pôr está próximo à linha do equador faz com que tenha pouca variação da frequência solar, garantido um bom nível de radiação e vantagens no uso de energia solar. Para Pinho; Galdino, (2014, p. 81), o valor da radiação solar incidente em um plano orientado para a linha do equador e com inclinação igual à latitude local permite calcular a energia elétrica que um sistema fotovoltaico instalado nessas condições pode converter.

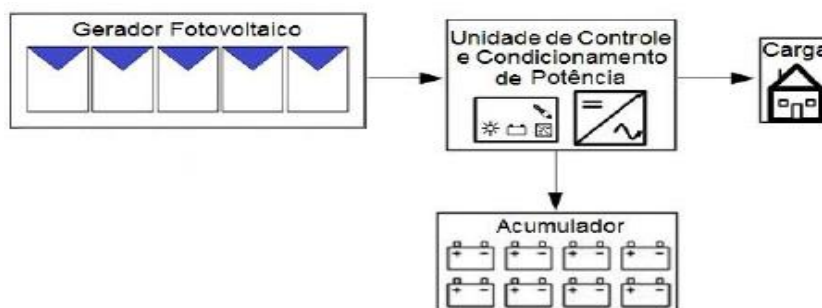
## 2.3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

O sistema solar fotovoltaico é classificado em: *On-Grid* e *Off-Grid*.

### 2.3.1 Sistema Fotovoltaico Off-Grid

O sistema *off-grid* são sistemas que necessitam de algum tipo de armazenamento como o uso de baterias para o uso desta energia quando não há geração fotovoltaico como o uso noturno desta energia. Na Figura 6 é mostrado os componentes de um sistema fotovoltaico do tipo *off-grid*.

Figura 41 - Componentes de Um Sistema Fotovoltaico do Tipo *Off-Grid*.



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

### 2.3.2 Sistema Fotovoltaico *On-Grid*

O sistema *on-grid* são sistemas fotovoltaicos ligados a rede elétrica de distribuição. Esse tipo de sistema utiliza a rede elétrica como backup caso a energia gerada pelo sistema seja insuficiente ou apresenta uma instabilidade na geração, além de usar a rede para exportar o excesso da energia gerada e não consumida, ou seja, caso a energia gerada for maior que a consumida é inserida na rede este excedente, é gerado um crédito positivo em sua conta pela energia inserida na rede gerando um sistema de compensação de energia.

De acordo com Art. 19 da lei 14.300/2022 As bandeiras tarifárias são válidas apenas para o consumo de energia elétrica ativa a ser faturado e não se aplicam à energia excedente compensada.

Os sistemas conectados à rede elétrica são classificados pela potência instalada, conforme a Lei 14.300/2022:

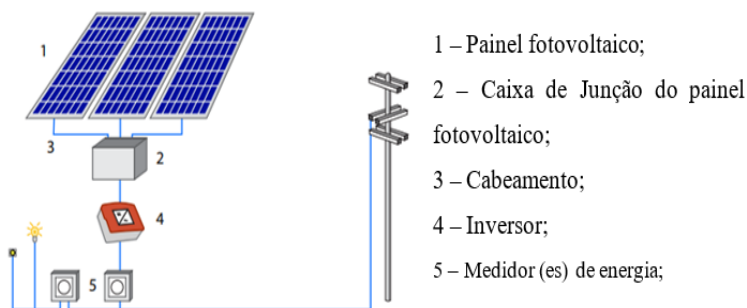
✓ Microgeração: potência instalada, em corrente alternada e que seja menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts).

✓ Minigeração distribuída: potência instalada, em corrente alternada e que seja maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis (uso de baterias) e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis (conectado à rede).

Pinho e Galdino (2014, p. 257), define os sistemas conectados à rede como aqueles que a potência produzida pelo gerador fotovoltaico é entregue diretamente a rede elétrica. Para isso é utilizado um inversor para converter a energia gerada pelo gerador fotovoltaico DC em energia da rede elétrica AC.

Na Figura 7 é demonstrada os componentes de um sistema solar fotovoltaico *on-grid*

Figura 49 - Componentes de Um Sistema Solar Fotovoltaico *On-Grid*



Fonte: Di Souza, 2016.

## 2.4 INVERSORES

Os inversores para a conexão de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica convertem a corrente contínua coletada dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada. No entanto, esses inversores foram produzidos para funcionar apenas quando ligados a rede elétrica para a segurança de equipamentos e de pessoas que fazem a manutenção do sistema fotovoltaico e da própria rede elétrica. “O inversor CC-CA para a conexão à rede possui um sistema



eletrônico de controle sofisticado que o transforma em uma fonte de corrente.” (Villalva e Gazoli, 2012, p.159).

O processo de escolha do inversor deve além de respeitar os critérios de cálculos matemáticos, devem atender alguns critérios como:

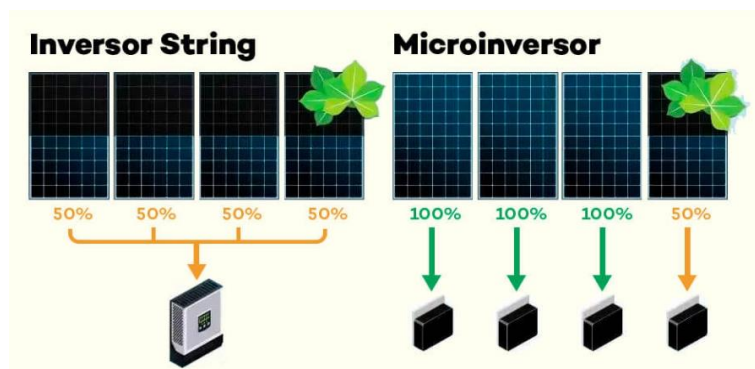
- A tensão de circuito aberto da *string* não pode ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor.
- Superdimensionamento do inversor onde este deve ser especificado para uma potência igual ou superior à potência de pico do conjunto dos módulos.

## 2.5 MICROINVERSORES

O micro inversor é um equipamento que desempenha a mesma função de um inversor *string*, no entanto, se diferenciam pelo fato de o mesmo conseguir ser instalado no próprio módulo individual e assim, conforme a academia do sol, otimizar a produção dos módulos uma vez que as eventuais perdas acontecerão de forma pontual e/ou isolada. E isso só é possível pela tecnologia *MLPE* empregada neste micro inversor, possibilitando a produção por módulos individualmente.

Na Figura 8 é mostrada a diferença de um inversor *String* versus, micro inversor. É possível verificar que caso aconteça uma situação de perda, por sombreamento ou por outro tipo de impedimento na geração de energia pelo painel fotovoltaico, o sistema onde está instalado o inversor *string* será, será todo afetado e já no sistema com micro inversor somente o painel que apresenta a perca é afetado preservando assim o resto do sistema.

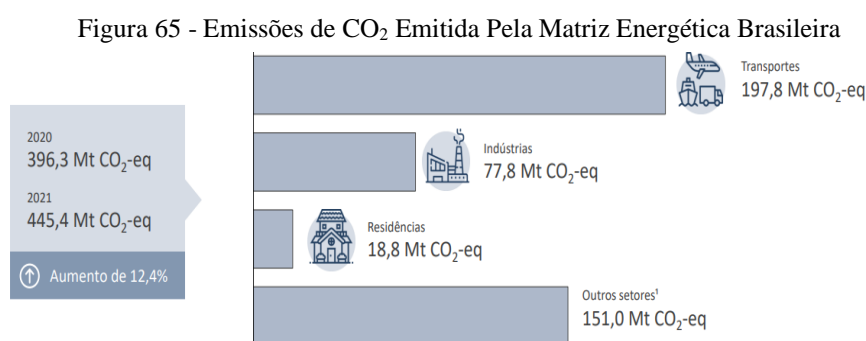
Figura 61 - Diferença de Um Inversor *String* para Micro Inversor



Fonte: Neosolar, 2023.

## 2.6 EMISSÕES DE GEE

Segundo dados do EPE (2022), o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 445,4 milhões de toneladas de dióxido de carbono contra 396,3 em 2020, um aumento de 12,4% a mais, sendo a maioria (197,8 Mt CO<sub>2</sub>-eq) gerada no setor de transportes. Em termos de emissões por habitante, cada brasileiro, produzindo e consumindo energia em 2021, emitiu em média 1,9 t CO<sub>2</sub>-eq, ou seja, o equivalente a 13% de um americano, 32% de um cidadão da União Europeia e 27% chinês, conforme os últimos dados divulgados pela Agência Internacional de Energia (IEA em inglês) para o ano de 2019. A Figura 9 mostra as emissões de CO<sub>2</sub> emitida pela matriz energética brasileira.



Fonte: EPE, 2022.

De acordo com Fontinelle *et al.* (2018), a emissão de dióxido de carbono na atmosfera é, na grande maioria, consequência de processos de combustão derivados do petróleo e do carvão. Dados do EPE (2022), ano base 2021 apontam que, o setor elétrico brasileiro emitiu, em média, 118,5 kg de CO<sub>2</sub> para produzir 1 MWh, um índice muito baixo quando se estabelece comparações com países da União Europeia, EUA e China.

## 2.7 LEIS E NORMAS DA ENERGIA SOLAR

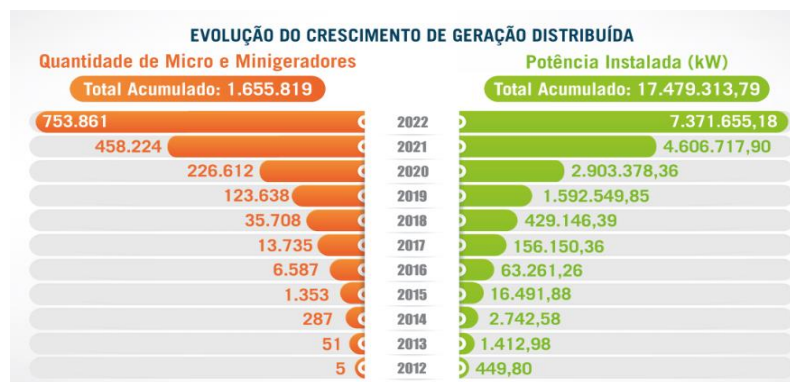
Na área de Energia Solar existem Normas e Leis de regulamentação, dentre elas podemos destacar a Lei 14.300/2022 que foi sancionada recentemente pelo então Presidente da República Jair Bolsonaro e publicada no DOU (Diário Oficial da União). Esta lei é considerada o Marco Legal da GD (Geração Distribuída) no Brasil, pois traz algumas mudanças principalmente para quem deseja instalar um sistema fotovoltaico, isso porque há uma

cobrança de uma tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD) mais conhecido como fio B que está relacionada com a transmissão da energia da distribuidora até o consumidor final esses créditos passaram a ser taxados com o intuito de cobrir os gastos das distribuidoras com a infraestrutura e investimento na rede elétrica.

Segundo ANEEL (2023), desde a publicação da Lei 14.300, em 7 de janeiro de 2022, já foram efetivadas pelas distribuidoras de todo o Brasil mais de 780 mil de conexões de micro e mini geração distribuída, totalizando mais de 7,6 GW de potência instalada. Esses números representam um aumento de 60% em relação ao número de conexões e 54% da potência instalada em relação ao verificado nos 13 meses anteriores à publicação da Lei. Cerca de 47% do total de conexões e de 44% da potência instalada de todo o histórico registrado desde 2009 ocorreu após a publicação da Lei.

A Figura 10 mostra a evolução da geração distribuída desde 2012 a 2022.

Figura 73 - Evolução da Geração Distribuída desde 2012 A 2022



Fonte: ANEEL. 2023.

## 2.8 ESTACIONAMENTO SOLAR INSTALADOS NO BRASIL

Segundo o Canal Solar, o condomínio Alphaville Dom Pedro 3 em Campinas foi o primeiro a adotar o sistema de *carport* solar com instalação que iniciou no final de 2019.

A Figura 11 mostra o estacionamento solar do condomínio Alphaville Dom Pedro 3 em Campinas (SP).

Figura 77 - Estacionamento Solar no Condomínio Emalphaville Em São Paulo (SP)



Fonte: Canal Solar, 2021.

Para o Canal Solar, o crescimento na aplicação de *carport* não é uma exclusividade do Brasil, pois em outros países o mesmo acontece. A *Disneyland Paris*, um *resort* de entretenimento em *Marne-la-Vallée*, localizado a cerca de 30 km da capital francesa, hospedará um novo projeto de garagem solar de 17 MW e que será construído em etapas até 2023.

Na Figura 12 mostra mais um exemplo de aplicação do *carport* solar e conforme Canal Solar, o empreendimento com 1,35 MW em uma de suas unidades na cidade de Baltimore, nos Estados Unidos.

Figura 90 – Aplicação do uso *carport* solar



Fonte: Canal Solar, 2021.

## 2.9 SOFTWARES DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

No mercado de energia solar existem vários softwares para auxílio no desenvolvimento e dimensionamento de projeto solar, dentre eles destacam-se o *Sketchup*; *SunData* e o *PVSystem*. Neste estudo, o *Sketchup* foi utilizado para fazer a simulação, maquete, em 3D do estacionamento proposto. O *SunData* para analisar os dados meteorológicos e o *PVSystem* para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

### 2.9.1 *Sketchup*

Software de modelagem 2D e 3D para simulação de projetos arquitetônico desenvolvido pela companhia de tecnologia *Trimble*. É muito utilizado para criação de cenários e modelação conforme o desejado. Na área de energia solar ele é muito utilizado para fazer a modelagem em 3D da estrutura física e/ou arranjo dos painéis fotovoltaico.

Este estudo considerou o uso desta ferramenta para a modelagem da maquete em 3D do estudo do estacionamento proposto.

### 2.9.2 *Sundata*

Segundo Cresesb, o programa *SunData* destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e também é uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A primeira versão do programa foi elaborada em 1995. Após a publicação da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, o Cresesb obteve autorização para utilizá-lo na atualização da base de dados do *SunData*. Produzido a partir de um total de 17 anos de imagens de satélite e com informações de mais de 72.000 pontos em todo o território brasileiro, o Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição é o que se tem de mais moderno em informações de irradiação solar no Brasil. Vale lembrar que as informações apresentadas são indicativas e possuem as limitações dos modelos utilizados. Para avaliações mais precisas recomenda-se a medição da irradiação no local de interesse.

### 2.9.3 *PVSyst*

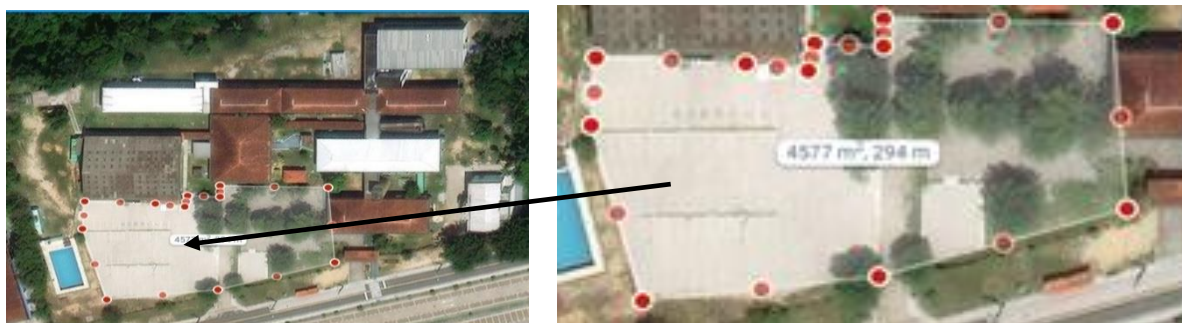
O *PVSyst* é um software desenvolvido para auxiliar no desenvolvimento de projetos de geração solar fotovoltaica, é utilizado por muitos profissionais como arquitetos, engenheiros e pesquisadores para o estudo do cálculo das perdas no sistema por sombreamento, sujidade nos módulos e estimar a eficiência do sistema fotovoltaico através do estudo de dimensionamento. É também uma ferramenta educativa muito útil. Inclui um menu de Ajuda contextual detalhado que explica os procedimentos e modelos utilizados e oferece uma abordagem amigável com um guia para desenvolver um projeto. No Anexo D é demonstrado um tutorial sobre o *PVSyst*.

### 3 METODOLOGIA

A primeira etapa deste estudo foi a escolha do local que será usada na implementação do sistema solar fotovoltaico. Esta escolha do local partiu inicialmente de uma avaliação do estacionamento interno do Instituto. Foi avaliado o estacionamento direcionado aos professores e o estacionamento direcionado aos alunos. O estacionamento dos professores, estacionamento principal, é rodeado de árvores de grande e médio porte, inviabilizando a escolha. Já o estacionamento dos alunos, estacionamento anexo, é amplo e livre de obstáculos que passam dificultar a produção de energia dos módulos. Este estudo considerou somente as áreas centrais e a área próximo a via, pois analisando a área próxima à quadra ficará inviável devido à projeção de sombra do ginásio nas placas solares, isto será provado mais adiante com a simulação de sombreamento.

A Figura 13 mostra uma imagem de satélite retirada do Global Solar Atlas no qual mostra o local onde o estacionamento solar deverá ser implementado.

Figura 102 – Imagem de Satélite do IFAM - CMDI



Fonte: Fonte: Adaptado Global Solar Atlas, 2022.

A área coberta da faixa central maior terá 35m comprimento com 13,06m de largura totalizando 457,1m<sup>2</sup> e a cobertura da faixa central menor terá 28m de comprimento com 13,06m de largura 365,68m<sup>2</sup> considerando que ambas as faixas são separadas por um canteiro central. A terceira área terá 25m de comprimento com 6,53m de largura total de 163,5m<sup>2</sup>. O sistema total terá abrangência para 55 vagas de carros no estacionamento. Considerando as dimensões do painel escolhido e a delimitação da área, este estudo considera o uso do *carport* solar. Após um estudo entre vários modelos de estrutura do *carport* solar, optou-se por uma armação onde os pilares de suporte do *carport* solar no qual terá o formato em Y, com uma



inclinação de  $10^\circ$  e com espaçamento entre eles de 2,98m com altura da parte mais alta de 3m e a mais baixa de 2,2m de maneira que os painéis sejam colocados todos direcionados para o norte geográfico.

A figura 14 é demonstrado uma visão de cima do uso do *carport* solar para o estacionamento em estudo.

Figura 106 – Uso do *Carport* Solar em Estacionamento



Fonte: Ksengenergy, 2023.

A figura 15 é demonstrado uma visão lateral do uso do *carport* solar para o estacionamento em estudo.

Figura 114 – Estrutura de um *Carport* Solar



Fonte: Ksengenergy, 2023.

Após a definição do local a ser instalado o sistema fotovoltaico, o próximo passo para seguir com o estudo do projeto foi coleta de dados. Nesta fase do projeto, foi coletado as informações geográficas, a latitude e longitude, da área através do Google Maps. A latitude e a longitude do projeto são, respectivamente,  $-3.135^\circ$  S,  $-59.974167^\circ$  W.

Após área definida e com a coleta de dados na mão, foi o momento da revisão bibliográfica para embasar o estudo de caso.



Depois do conhecimento adquirido com a leitura, foi feito o dimensionamento do projeto, começando com definição da área para o levantamento correto da quantidade de painel, inversores que seria necessário para o desenvolvimento do sistema.

## 4 DIMENSIONAMENTO DO SFCR

Neste capítulo é apresentado o dimensionamento do Sistema Fotovoltaico conectado à Rede (SFCR) para uma Unidade Consumidora (UC) localizada em Manaus – AM. Este estudo foi elaborado considerando somente os aspectos técnico e os cálculos foram comprovados por meio de simulação computacional usando o software *PVSyst*.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Campus Manaus Distrito Industrial pertence ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. Foi criado por meio da Portaria Ministerial n.º067, de 06.02.1987, com o nome de Unidade de Ensino Descentralizada de Manaus e autorizado a funcionar através da Portaria n.º1.241, de 27.08.1992, oferecendo inicialmente os cursos de Informática Industrial e Eletrônica. No dia 26 de março de 2001, por meio do Decreto Presidencial e publicado no Diário Oficial da União em 27.03.2001, Lei n.º8.948, de 08.12.1994 foi implantado o Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas – CEFET-AM, em decorrência da transformação Institucional da Escola Técnica Federal do Amazonas onde mais tarde, através da Portaria Ministerial n.º04 de 06 de janeiro de 2009, que estabelece a relação dos campi que passaram a compor cada um dos Institutos Federais e a qual cria o Instituto Federal do Amazonas, que a então Unidade de Ensino Descentralizada (UNED) de Manaus passa a denominar-se Campus Manaus Distrito Industrial (CMDI). (site portal IFAM-CMDI).

A Figura 16 apresenta a vista aérea do condomínio IFAM-CMDI com destaque na demarcação da área do estacionamento onde deverá receber a instalação dos painéis sinalizada como A subáreas, A, B e C

Figura 118 - Estudo do Local para a Instalação dos Paineis Solares



Fonte: Adaptado Global Solar Atlas, 2022.

A Tabela 1 mostra os dados do local do estudo.

Tabela 1 – Dados da Localização do Estudo

Dados da localização	
Local	IFAM-CMDI
Endereço	Av. Gov. Danilo de Matos Areosa, 1731-1975, Distrito Industrial, CEP 69075-351, Manaus – AM
Latitude:	-3.135 °S
Longitude:	-59.974 °W
Sub Area A(m <sup>2</sup> )	457 m <sup>2</sup>
Sub Area B (m <sup>2</sup> )	365 m <sup>2</sup>
Sub Area C (m <sup>2</sup> )	163 m <sup>2</sup>
Area total do projeto (m <sup>2</sup> )	985 m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

## 4.2 ASPECTO TÉCNICO (CALCULADO E SIMULADO)

As equações utilizadas no dimensionamento deste estudo podem ser encontradas em Villalva e Gazoli (2012).

### 4.2.1 Aspecto Técnico Calculado

#### 4.2.1.1 Levantamento do Consumo do Estacionamento

O levantamento do consumo de energia elétrica é o primeiro passo para se dimensionar um sistema fotovoltaico. Foi verificado a quantidade de lâmpadas; a potência de cada lâmpada e por quantas horas essas lâmpadas ficaram ligados durante um dia.

A energia elétrica consumida por cada lâmpada foi obtida pela equação 1.

$$E_e = P_{Lâmpadas} * T_{ligadas} \quad (1)$$

Onde:

$E_e$ : Energia consumida em Watts hora (Wh)

$P_e$ : Potência da lâmpada em W;

T: Tempo de uso em horas;

Para o cálculo da energia consumida anualmente por uma lâmpada usa-se a equação 2 e o resultado apresentado na tabela 2.

$$E_e = Q_{Lâmpadas} * P_{Lâmpadas} * T_{ligadas} * 365 \quad (2)$$

Onde:

$E_E$  - Energia Consumida

$P_{Lâmpada}$  - Potência da Lâmpada

$Q_{Lâmpadas}$  - Quantidade de Lâmpadas

$T_{ligada}$  - Tempo de uso da lâmpada ligada

Tabela 2 - Energia Consumida Anualmente Pelas Lâmpadas do Estacionamento

Energia média consumida pelas cargas [kWh/dia] do estacionamento					
Descrição	Quant.	Potência	Horas	kWh/dia	kWh/Ano
Excepcional Refletor Tipo Iluminação Pública 100W Slim PrismaledBrasil	14	250	12	42	15330
Lâmpada globo led 65w 6500k sorte luz	7	100	12	8,4	3066
Total consumo				50,4	18396

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

#### 4.2.1.2 Escolha do Pannel Fotovoltaico

Usualmente para a escolha do painel fotovoltaico de um projeto de sistema solar conectado à rede tem como ponto de partida o critério do consumo diário médio mensal (CDM); consumo diário médio anual; análise do recurso solar disponível da área, assim como a Taxa de Desempenho (TD); escolha do tipo de painel e inversores do sistema, no enteando, para o estudo de caso do estacionamento solar do IFAM - CMDI, o ponto de partida foi através do critério do uso da área total disponível como limitante do sistema de geração. Claro que para se calcular a área que irá receber os painéis, terá que também conhecer a área do painel. Diante disso fez uma pesquisa informal na internet e verificou-se que o módulo RSM156-6-445M monocristalino do fabricante *Risen Solar* é bem-visto e aceito no mercado de energia solar brasileiro, além de o mesmo ser utilizado na usina já instalada no IFAM - CMDI e que também é uma boa opção para o estudo proposto.

Na Tabela 3 é mostrado as especificações técnicas do módulo. Informações detalhadas deste módulo, fornecidas pelo fabricante, encontram-se no Anexo A.

Tabela 3 - Especificações Técnicas Do Módulo

DADOS ELÉTRICOS (STC) DO MÓDULO	
Número do mdelo	RSM156-6-445M
Fabricante	Risen Solar
Tecnologia	Si-mono
Potência nominal em Watts-Pmax(Wp)	445
Tensão de Circuito Aberto-Voc(V)	54,70
Corrente de curto-circuito-Isc(A)	10,77
Tensão de Máxima Potência-Vmpp(V)	43,90
Corrente de Potência Máxima-Impp(A)	10,15
Eficiência do Módulo (%)	20,50
Dimensões:	2178 x 996 x 40 mm
Área	2,169 m <sup>2</sup>
Peso:	25,5 kg

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

#### 4.2.1.3 Números De Painéis (Np)

Para determinar a quantidade de painel do sistema a partir da área total disponível como limitante do sistema de geração. Usou-se a equação 3 para determinar o Número total de módulo do SFCR.

$$N_m = \frac{\text{Area sistema}}{\text{Area modulo}} = \frac{985\text{m}^2}{2,169\text{m}^2} \cong 453 \quad (3)$$

Onde:

$N_m$ : Número de módulos fotovoltaicos;

Área do sistema: Área de cada subsistema na instalação do módulo [m<sup>2</sup>];

Área do painel: Área do módulo [m<sup>2</sup>].

Como os módulos irão ser instalados em áreas separadas então a necessidade de se conhecer o número de módulo que cada área receberá, logo usou-se as equações 3.1 à 3.3 para fazer estes cálculos.

$$NmAreaA = \frac{457m^2}{2,169m^2} = 210 \quad (3.1)$$

$$NmAreaB = \frac{365m^2}{2,169m^2} = 168 \quad (3.2)$$

$$NmAreaB = \frac{163m^2}{2,169m^2} = 75 \quad (3.3)$$

#### 4.2.1.4 Potência calculada do sistema fotovoltaico ( $P_{SFV}$ )

De posse da quantidade de módulo, foi o cálculo da potência do sistema fotovoltaico ( $P_{SFV}$ ) através da equação 4.

$$P_{SFV} = N_{mod} \times P_{mod} = 453 \times 445 = 201.585 \text{ Wp ou } 201,585 \text{ kWp} \quad (4)$$

Onde:

$P_{SFV}$  – Potência do sistema fotovoltaico [Wp]

$N_{mod}$  – Número de modulo do sistema

$P_{mod}$  – Potência do módulo escolhido [Wp]

Os cálculos dos sistemas o sistema I, II e III são apenas para efeito de conhecimento da capacidade de geração que cada subsistema pode gerar pois estes estão sendo considerado no sistema fotovoltaico ( $P_{SFV}$ ) como um todo. Usou-se as equações 4.1 à 4.3 para o levantamentos dos cálculos destes sistemas.

- Calculo da potência do sistema I

$$P_{SFV} = N_{mod} \times P_{mod} = 210 \times 445 = 93.450 \text{ Wp ou } 93,45 \text{ kWp} \quad (4.1)$$

- Cálculo da potência do sistema II

$$P_{SFV} = N_{\text{mod}} \times P_{\text{mod}} = 168 \times 445 = 74.760 \text{ Wp ou } 74,76 \text{ kWp} \quad (4.2)$$

- Cálculo da potência total do sistema (considerando o sistema I, II e III)

$$P_{SFV} = N_{\text{mod}} \times P_{\text{mod}} = 75 \times 445 = 33.375 \text{ Wp ou } 33,37 \text{ kWp} \quad (4.3)$$

#### 4.2.1.5 Banco de dados da radiação solar utilizada

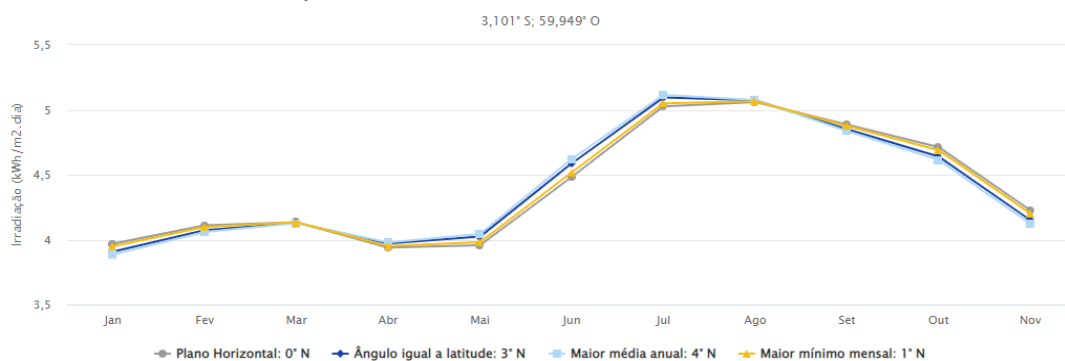
De posse das coordenadas geográficas foi feito uma busca no site da Cresesb através do programa *SumData* que é um software destinado ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional. O site mostra o resultado de três leituras de localidades próximas à área. Foi selecionada a irradiação solar da localidade mais próxima, que fica cerca de 4,7km de distância. A Figura 17 mostra a irradiação solar diária média mensal a ser utilizada na área do projeto.

Figura 126 - Irradiação Solar Diária Média

Estação: Manaus  
Município: Manaus, AM - BRASIL  
Latitude: 3,101° S  
Longitude: 59,949° O  
Distância do ponto de ref. ( 3,135453° S; 59,974093° O ): 4,7 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	3,97	4,11	4,13	3,94	3,96	4,48	4,49	5,03	5,06	4,89	4,71	4,23	4,42	1,12
✓	Ângulo igual a latitude	3° N	3,91	4,07	4,13	3,97	4,02	4,59	4,58	5,09	5,07	4,85	4,64	4,15	4,42	1,19
✓	Maior média anual	4° N	3,89	4,06	4,13	3,98	4,04	4,62	4,61	5,11	5,08	4,84	4,61	4,12	4,42	1,23
✓	Maior mínimo mensal	1° N	3,95	4,10	4,13	3,95	3,98	4,52	4,52	5,05	5,06	4,88	4,69	4,20	4,42	1,12

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Manaus–Manaus, AM–BRASIL



Fonte: Cresesb, 2023.



#### 4.2.1.6 Radiação solar da localidade

A irradiação solar é imprescindível para o desenvolvimento de qualquer projeto fotovoltaico, pois mostra a incidência solar do local que servirão como base para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Um fator muito importante e que não pode ser ignorado e que implica diretamente na eficiência do sistema é o estudo das perdas gerada pelo sistema fotovoltaico, que pode ser por inclinação incorreta, por sombreamento, por sujidade. Para minimizar as perdas por inclinação incorreta, Ruther (2004) orienta que seja utilizado o valor mais aproximado da latitude do local, já Tolmasquim (2016), acrescenta que, além disso, seja orientado ao norte, no hemisfério sul, de forma que a superfície receptora esteja perpendicular aos raios solares na média anual, fazendo com que a variação da irradiação ao longo do ano seja atenuada, no entanto, para um projeto em Manaus onde a latitude é de -3, o uso da latitude como ângulo ótimo não seria viável pelo fato de a inclinação não oferecer uma limpeza ideal para os dias chuvosos que predominam nesta região, por esta razão adotou-se uma inclinação de 10° com a irradiação solar diária média mensal ( $G_{POA}$ ) de 4,42 kWh/m<sup>2</sup>. dia, equação 5.

$$G_{POA}=4,42\text{kWh/m}^2/\text{dia} \quad (5)$$

#### 4.2.1.7 Dimensionamento Do Inversor

Para que um projeto seja atrativo e viável é necessário que ao fazer o dimensionamento do inversor, o faça levando em consideração a análise do FDI do inversor para verificar se o dimensionamento do SFCR atende os requisitos mínimos de trabalho para que o inversor não trabalhe abaixo de sua potência nominal ou sobrecarregado. O uso do FDI é feito para a otimização do projeto, uma vez que você limita o inversor a trabalhar quase igual à potência do SF. Pinho; Galdino, (2014), afirmam que ao utilizar um inversor de menor capacidade diminui também o custo do projeto, deixando-o mais barato e sem causar danos significativos na quantidade de energia gerada e na confiabilidade do sistema, logo a energia gerada dente torna-se mais barata.

## a) Fator de dimensionamento do Inversor (FDI)

O Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) representa a razão entre a potência nominal do inversor ( $P_{INV}$ ) e a potência nominal ou potência de pico do gerador fotovoltaico ( $P_{FV}$ ). Para este cálculo se usa a equação de número 6.

$$FDI = \frac{P_{inv}}{P_{FV}} = \frac{150kW}{201kW} \cong 0,75 \quad (6)$$

Onde:

FDI – Fator de Dimensionamento do inversor

$P_{inv}$  = a potência nominal do inversor [Wp]

$P_{PF}$  = potência nominal ou potência de pico do gerador fotovoltaico [Wp]

Para Pinho; Galdino, (2014), o limite inferior do FDI recomendado pelos fabricantes e instaladores varia de 0,75 a 0,85 e o limite superior é de 1,05. Para o limite mínimo vamos empregar neste projeto um FDI de 0,75 e o máximo de 1,05.

Portanto, para calcularmos a potência do inversor ( $P_{inv}$ ) usaremos as equações de número 7 e para potência do inversor FDI ( $P_{inv\_FDI}$ ) usaremos a 7.1:

$$P_{inv} = 0,75 \times n^{\circ} \text{ módulo} \times \text{potência do módulo} = 151,188 \text{ kW} \quad (7)$$

$$P_{inv\_FDI} = 0,75 \times P_{inv} = 113,391 \text{ kW} \quad (7.1)$$

Com a potência do inversor FDI calculada, foi escolhido, dentre os disponíveis no mercado, que atenda as especificações do projeto, no entanto levou-se em consideração também a escolha do inversor já é utilizado na usina instalada no IFAM – CMDI que atende a essas especificações além de ter uma boa aceitação no mercado brasileiro. O inversor escolhido foi o modelo GW30K-MT de 30 kW do fabricante Goodwe.

Como o inversor escolhido está abaixo da potência total calculada para o inversor do projeto, usou-se a equação 8 para calcular a quantidade de inversores que atenda a potência total do projeto.

$$Q_{inv} = \frac{P_{inv\text{calculado}}}{P_{inv\text{escolhido}}} = \frac{151,188 \text{ kW}}{30 \text{ kW}} = 5,03 \quad (8)$$

Onde:

$Q_{inv}$  – Quantidade de inversores necessários para o sistema

$P_{inv\text{calcul}}$  – Potência total do inversor do sistema

$P_{inv\text{escolhido}}$  = Potência do inversor escolhido para o sistema

É uma prática comum nos sistemas fotovoltaicos empregar inversores ligeiramente subdimensionados, já que os módulos fotovoltaicos raramente alcançam a sua potência de pico em condições reais de operação, por esta razão, a quantidade de inversores escolhido para o projeto é de 5 inversores de 30 kW cada.

A nova potência do inversor será dada pela equação 9.

$$P_{inv\text{escolhido}} = N_{inv} \times P_{nom_{inv}} = 5 \times 30 \text{ kW} = 150 \text{ kW} \quad (9)$$

Onde:

$P_{inv}$ : Potência total dos inversores do sistema fotovoltaico (W);

$N_{inv}$ : Número de inversores do sistema fotovoltaico;

$P_{nom_{inv}}$ : Potência nominal dos inversores (W):

A Figura 18 mostra as especificações técnica do inversor escolhido. Informações detalhadas deste inversor fornecidas pelo fabricante encontram-se no Anexo B.

Figura 130 - Especificações Técnica Do Inversor

Dados Técnicos		GW30K-MT
<b>Entrada CC</b>		
Potência Máxima de Entrada (kW)		39,0
Tensão Máxima de Entrada (V)		1100
Faixa de Operação MPPT (V)		200 – 950
Tensão de partida (V)		180
Tensão Nominal de Entrada (V)		600
Corrente Máxima de Entrada por MPPT (A)		30
Corrente Máxima de Curto por MPPT (A)		37,5
Número de MPPTs		3
Número de strings por MPPT		2
<b>Saída CA</b>		
Potência nominal de saída (kW)		30
Potência nominal aparente de saída (kVA)		30
Potência ativa máx. de saída (kW)		30
Potência aparente máx. de saída (kVA)		30
Potência nominal a 40°C (kW)		30
Potência máx. a 40°C (kW)		30
Tensão nominal de saída (V)	380, 200V / 230V / PE	
Frequência nominal da rede CA (Hz)		50 / 60
Corrente Máxima de Saída (A)		48,0
Fator de potência de saída		-1 (Ajustável 0.8 capacitivo - 0.8 indutivo)

Fonte: Adptado *Datasheet* Goodwe, 2023.

### b) Faixa De Operação Do Inversor ( $P_{inv}$ )

A faixa de operação do inversor será calculada pela equação 10

$$P_{SFV} * 0,7 \leq P_{inv} \leq P_{SFV} * 1,2 = 141,109\text{kW} \leq 150\text{kW} \leq 241,902\text{kW} \quad (10)$$

Onde:

$P_{inv}$  : Faixa de operação do inversor [W].

### c) Cálculo do Arranjo Fotovoltaico

Depois de definir os módulos e inversores escolhidos para o sistema é necessário verificar algumas condições, baseados nas características elétricas dos módulos com as do inversor escolhido para assim definir o arranjo fotovoltaico (*string*) que é a associação (série / paralelo) que o inversor pode suportar.

- Primeira Condição

A primeira condição é calcular o número máximo de módulos em série por *string* que o inversor suporta onde o número máximo de módulos em Série ( $N_{Série(max)}$ ) por *string* é igual à tensão *MPPT* máxima do inversor ( $V_{mpp}$ ) dividida pela tensão máxima do módulo em circuito aberto ( $V_{oc}$ ) e o número mínimo de módulos em Série ( $N_{Série(min)}$ ) por *string* é igual a tensão *MPPT* mínima do inversor  $V_{mppt}(min)$  dividida pela tensão de máxima potência do módulo  $V_{mpp}(mod)$ . Usa-se a equação 11 e 12 para calcular o  $N_{Série(max)}$  e  $N_{Série(min)}$ .

$$N_{série(max)} = \frac{V_{mppt(Max)}}{V_{oc(mod)}} = \frac{950 \text{ v}}{54,70 \text{ v}} = 17,36 = 17 \text{ módulos} \quad (11)$$

Onde:

$N_{série}$ : Número de módulos em série;

$V_{mppt}(max)$ : Tensão *MPPT* máxima do inversor [V];

$V_{oc}$ : Tensão de circuito aberto [V];

$$N_{série(\min)} = \frac{V_{mppt(\min)}}{V_{mpp(\text{mod})}} = \frac{200 \text{ v}}{43,90 \text{ v}} = 4,55 = 5 \text{ módulos} \quad (12)$$

Onde:

$N_{série}$ : Número de módulos em série;

$V_{mppt(\min)}$ : Tensão *MPPT* mínima do inversor [V];

$V_{mpp(\text{mod})}$ : Tensão Máxima de Potência [V];

- Segunda Condição

A segunda condição é calcular o número de módulos em paralelo (Nº Fileiras em paralelo). Para se calcular a quantidade de fileiras em paralelo de módulos em série que este inversor suporta, iremos usar a equação 13.

$$N_{pr} = \frac{I_{\max(\text{inv})}}{I_{mp(\text{mod})}} = \frac{30 \text{ A}}{10,15 \text{ A}} = 2,95 \text{ fileiras} \quad (13)$$

Onde:

$I_{mp}$ : Corrente de Funcionamento do Painel [10,15A];

$I_{\max}$ : Corrente máxima de entrada do inversor [30A];

$N_{pr}$ : Número de módulos em paralelo.

O número máximo de módulos em série” que o inversor pode suportar é de 17 painéis ligados em série formando uma *string*. Portanto, o sistema dimensionado suporta no máximo 2 *strings* por *MPPT* e cada *string* pode ter no máximo 17 módulos em série.

#### 4.2.1.8 Compatibilidade entre o inversor e o gerador fotovoltaico.

Para análise de compatibilidade entre o inversor e o gerador fotovoltaico foram elencados e verificados os itens que assegurem que de fato o inversor escolhido é compatível com o gerador:

- Verificar se a tensão máxima de entrada do inversor escolhido é maior do que a tensão de circuito aberto da *string*. Feito e comprovado conforme equações 14 e 14.1.

$$V_{ocString} = N_{série(\max)} \times V_{ocPainel} = 17 \times 57,70 \text{ V} = 923,90 \text{ V} \quad (14)$$

Para que esta condição seja aceita, a máxima tensão CC deve ser maior que o  $V_{oc}$  da *string* calculada.

Neste caso:

$$1100 \text{ V} > 823,90 \text{ V (Verdadeiro)} \quad (14,1)$$

- Verificado através das equações 15 e 16 que a tensão de máxima potência ( $V_{mpp}$ ) do inversor é maior que o  $V_{mp}$  da *string* calculada e isso significa que se a faixa operacional de *MPPT* do inversor escolhido compreende a tensão de máxima potência ( $V_{MPP}$ ) da *string* então o inversor escolhido é compatível com o sistema de geração.

$$V_{mp} = N_{serie(max)} \times V_{mpPainel} = 17 \times 43,90 \text{ V} = 746,3 \text{ V} \quad (15)$$

$$1100 \text{ V} > 746,3 \text{ V} = \text{(Verdadeiro)} \quad (16)$$

- Verificado se a máxima corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) do inversor escolhido é maior do que a corrente máxima de curto-circuito da *string*. O resultado também foi satisfatório, conforme indicado na equação 17, e assim fechando o estudo de verificação de compatibilidade entre o gerador fotovoltaico e o gerador escolhido.

$$37,5 \text{ A} > 10,77 \text{ A (Verdadeiro)}. \quad (17)$$

$I_{sc} = 10,77 \text{ A}$  (como os módulos estão em série, a corrente da *string* é a mesma dos módulos).

A corrente de curto-circuito do arranjo fotovoltaico é calculada pela equação 18, onde  $SSA$  é o número total de séries fotovoltaicas conectadas em paralelo ao subarranjo fotovoltaico.

$$I_{sc S - Arranjo} = 1,5 * I_{sc Mod.} * SSA = 1,5 * 10,77 \times 2 = 32,31 \text{ A} \quad (18)$$

Para o cálculo da Potência Máxima de pico do sistema é calculada pela equação 19 e 20 onde:

$$P_{\text{máx. do sistema}} = N^{\circ} \text{ mod em serie} * \text{Qunt. String} * \text{Pot. modulo} \quad (19)$$

$$P_{\text{máx. do sistema}} = 15 * 2 * 445 = 13,350 \text{ kWp} \quad (20)$$

#### 4.2.1.9 Análise Da Influência Da Temperatura Na Eficiência Dos Módulos

Os cálculos apresentados anteriores são cálculos sob *STC* que é uma condição normal de teste onde é considerado uma irradiância de 1000 w/m<sup>2</sup> com uma temperatura de 25°C. Este estudo considerou somente os cálculos em *STC*. Nos cálculos a seguir, demonstraremos o novo valor de circuito aberto nos módulos. Apenas para efeito informativo, mas não fizeram parte no dimensionamento do inversor. Considerando que a área em que o sistema será instalado será em Manaus, foi feito uma busca sobre os dados climatológicos para Manaus através do site <https://pt.climate-data.org/>.

A tabela 4 Mostra os dados técnicos do painel referente a temperatura.

Tabela 4 – Especificações Técnicas do Painel Quanto à Temperatura

Temperaturas Máximas Painel RSM-156-6-450-M	
Coeficiente de Temperatura de Voc	(- 0,29%/°C)
Coeficiente de Temperatura de Isc	0,05%/°C
Coeficiente de Temperatura de Pmax	(- 0,37%/°C)
Temperatura operacional	(-40°C ~ + 85°C)
Tensão Máxima do Sistema	1500Vdc

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

De posse desses dados, foi feita a análise da eficiência dos módulos considerando a menor e a maior temperatura mensal no local. Onde a temperatura mínima fica em torno de 23,5 °C e a máxima 31,3 °C. Esta análise partiu dos dados obtidos na ficha técnica do painel, mais precisamente sobre as temperaturas de operação nos sistemas fora do *STC*. Analisando somente a

ficha técnica do módulo, podemos observar que para cada analisado o novo valor de Voc (tensão de circuito aberto) considerando a variação de temperatura mínima e máxima da região do projeto.

- Análise do Voc e Vmp sobre a menor temperatura foi feito pelas equações 21.22 e 23;

$$V_{oc}(Temp^{\circ}C) = V_{oc} * \left(1 - \frac{Coef}{100} * \Delta T\right) \quad (21)$$

$$V_{oc}(20^{\circ}C) = 57,70 * \left(1 - \frac{Coef}{100} * \Delta T\right) = 56,86 V \quad (22)$$

$$V_{mp}(20^{\circ}C) = 43,90 * \left(1 - \frac{Coef}{100} * \Delta T\right) = 43,26 V \quad (23)$$

- Análise sobre a maior temperatura foi feito pelas equações 24 e 25;

$$V_{oc}(60^{\circ}C) = 57,70 * \left(1 - \frac{Coef}{100} * \Delta T\right) = 63,55 V \quad (24)$$

$$V_{mp}(60^{\circ}C) = 43,90 * \left(1 - \frac{Coef}{100} * \Delta T\right) = 48,35 V \quad (25)$$

Analisando os dados é fácil perceber que quando maior a temperatura menor será a tensão de circuito aberto (Voc) e quando menor a temperatura maior será a tensão de circuito aberto (Voc) dos módulos.

Comparando a análise dos cálculos em *STC* com as temperaturas mínima e máximas da área em Manaus, o que podemos observar é que como a temperatura para Manaus não oscilou muito em relação ao *STC* e os resultados ficaram muitos próximos do analisado em *STC*. No entanto, a temperatura na área do painel não chega somente em 31,3°C, mas deve ficar em  $\pm 60^{\circ}C$  na face deste, isso porque os painéis tem também sua estrutura metálica e o metal tem uma ótima capacidade de absorver ou transferir calor e geralmente a sua temperatura está igual à temperatura do ar. Isso significa que a temperatura no ambiente pode está em 31,3°C, mas a sensação térmica pode chegar as 45 ou 60°C fazendo com que haja uma perda de eficiência dos módulos, haja visto que a composição do painel e feito de um semiconductor silício, mesmo material utilizados em microchips e por esta razão compartilham o mesmo problema que é a perda de eficiência em temperaturas um pouco elevada.



#### 4.2.1.10 Estudo das perdas na conversão do sistema

A Tabela 5 é listado as perdas na conversão do sistema fotovoltaico no estacionamento do IFAM-CMDI.

Tabela 5 – Tabela de Perdas na Conversão do Sistema

Perda devido a degradação	3,8%
Perdas devido ao nível de irradiação	0,6%
Perda por aumento de temperatura:	7,2%
Perdas sobre a qualidade dos módulos	0,7%
Perdas sobre o <i>LID</i>	2,0%
Mismatch	3,5%
Perdas ôhmicas DC	0,2%
Perdas no inversor	1,4%
Perdas ôhmicas CA	0,2%
Perdas totais:	19,60%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

#### 4.2.1.11 Produção De Energia Efetiva

Para a produção efetiva de energia elétrica pelo sistema do Estacionamento Solar do IFAM-CMDI foi considerado as perdas totais de 19,6%, a tabela 6 mostra a produção de energia elétrica produzida ao longo de um ano pelo Estacionamento Solar.

Tabela 6 - Produção de Energia Elétrica Produzida ao Longo de um Ano

Descrição do Sistema	Produção sem perdas [MWh]	Produção com perdas [MWh]
Produção efetiva anual [MWh]	282,98	226,38

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

#### 4.2.1.12 Distribuição Dos Módulo Por Inversor

Após a análise de compatibilidade do gerador fotovoltaico com o inversor, foi possível fazer a distribuição dos módulos nos inversores, cuja configuração seguiu a recomendação da Norma NBR 16690, no qual orienta que todos os módulos do arranjo sejam da mesma tecnologia e que tenha a mesma quantidade de módulos ligados em série para que não se tenha

perca por descasamento de parâmetros (*mismatch*) para melhor desempenho do arranjo fotovoltaico.

Para melhor configuração do sistema, foi considerado o sistema com 30 *strings* de 15 módulos distribuídos em 5 inversores de 3 *MPPTs* sendo:

Inversor 1:

- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos

Inversor 2:

- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos

Inversor 3:

- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos

Inversor 4:

- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos

Inversor 5:

- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos
- ✓ 1 entrada *MPPT* com 2 *strings* de 15 módulos

#### 4.2.1.13 Resumo Do Sistema Do Estacionamento Solar

Com base na média diária da radiação solar no local, fornecida pelo banco de dados do Cresesb através do programa *SumData* que é de 4,42 kWh/m<sup>2</sup>/dia, calcula-se o número de

Horas de Sol Pleno (HSP), que corresponde o número de horas do dia em que a potência permanece em 1,0 kWh/m<sup>2</sup>. Esse cálculo é feito através da equação 27.

$$HSP = \frac{Irr}{Es} = \frac{4,2 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}}{1000 \text{ W/m}^2} = 4,2 \text{ h/dia} \quad (27)$$

Onde:

HSP: Horas de Sol Pleno (h/dia);

Irr: Irradiância local (4,42 kWh/m<sup>2</sup>/dia);

Es: radiação solar condição padrão de teste (1000 W/m<sup>2</sup>).

De posse dos dados das horas de Sol, calcula-se a quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico no local em um dia. Para o cálculo usa-se a soma de todas as potências máximas de cada inversor. Neste caso temos 6 inversores de 30kWp cada totalizando 180kWp. Esse é o valor de máxima potência do sistema.

Para cálculo da energia gerada pelo sistema em um dia usa a Equação 29 e a Equação 30 para cálculo da energia gerada pelo sistema por 30 dias.

$$Eg \text{ (dia)} = Pt * HSP * Eficiencia \text{ max(inv)} \quad (29)$$

$$Eg \text{ (Mês)} = 180 * 4,42 * 0,988 * 30 = 23,58MWh \quad (30)$$

Onde:

Pt – Potência nominal do sistema (6 \*30=180kWp);

HSP = 4,42 h/dia;

Efic.Max(inv) = 98,8% ou 0,988

Logo a energia produzida ao longo de um ano é calculada pela equação 31 e 32.

$$Eg \text{ (ano)} = Pt * HSP * Eficiencia \text{ max(inv)} * 365 \quad (31)$$

$$Eg \text{ (ano)} = 180 * 4,42 * 0,988 * 365 = 286,90MWh \quad (32)$$

A Tabela 7 mostra a geração do sistema fotovoltaico do Estacionamento Solar do IFAM-CMDI; a energia consumida com a iluminação do Estacionamento no período de 12h (18:00 às 06:00) e a energia que não é consumida e será injetada na rede interna do IFAM-CMDI. Analisando os dados é possível ver que o sistema gera aproximadamente 283 MWh e o estacionamento consome 18,396MWh. A diferença entre o que é gerado e o que foi consumido será a energia injetada na rede que deverá ser de aproximadamente 265 MWh.

Tabela 7 - Geração do Sistema Fotovoltaico em um Ano

	Geração do Sistema (MWh)	E_Consumida (MWh)	E_injetada na rede (MWh)
Ano	282,972	18,396	264,576

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

#### 4.2.2 Aspecto Técnico Simulado no PVSystem

O *PVSystem* é um software utilizado para o auxiliar no dimensionamento e desenvolvimento de projetos de geração solar fotovoltaica; estudo e cálculo das perdas no sistema por sombreamento, sujidade nos módulos e estimar a eficiência do sistema SFCR através do estudo de dimensionamento. Segundo o site oficial do *PVSystem*, diz que este software foi projetado para ser usado por arquitetos, engenheiros e pesquisadores. É também uma ferramenta educativa muito útil. Inclui um menu de Ajuda contextual detalhado que explica os procedimentos e modelos utilizados e oferece uma abordagem amigável com um guia para desenvolver um projeto.

O primeiro passo para o início do dimensionamento do sistema pelo, o software *PVSystem* foi baixar o programa através do site <https://www.PVSystem.com/> criando uma conta vinculada ao e-mail e instalar a versão teste de 30 dias disponibilizada. Nela está liberado todos os recursos do software.

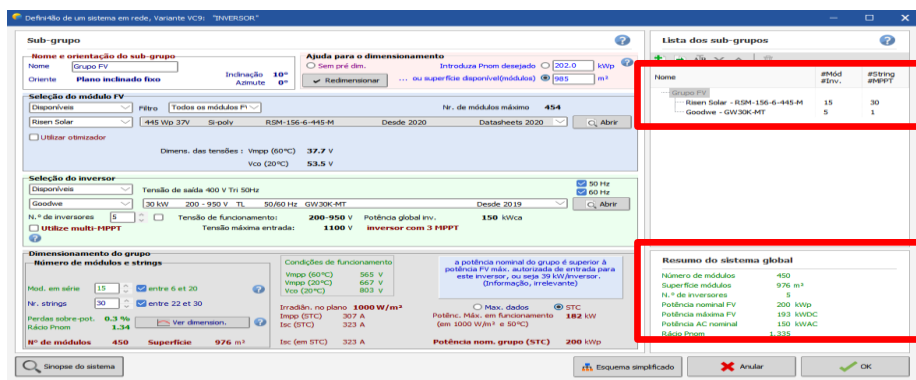
Terminada a instalação do software, foi iniciada a configuração no Software *PVSystem*. Basicamente se resume da seguinte forma sequencial:

- a) Escolha do tipo de Sistema
- b) Definição do Projeto

Para a definição do Sistema foi selecionado o painel e inversor já definidos anteriormente. A Figura 19 mostra o resultado da combinação desta escolha. Informações

detalhadas da configuração do sistema *PVSystem* encontram-se no tutorial disponibilizado pela central de ajuda do *PVSystem* e disponível no Anexo D.

Figura 138 – Escolha do Painel e Inverso

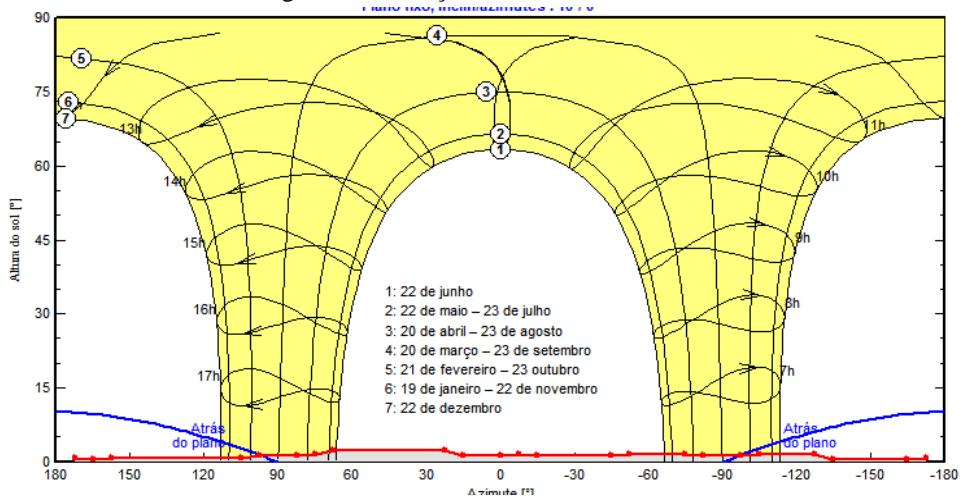


Fonte: Adaptado do Programa de Simulação *PVSystem*, 2023.

### c) Definição de Parâmetros.

A definição de sombra do horizonte foi definida para averiguar se existem alguns morros ou montanhas próximas ao local da instalação que produza sombreamento. A Figura 20 mostra graficamente o resultado do traçado da linha do horizonte nas proximidades do IFAM-CMDI em Manaus.

Figura 146 - Traçado da Linha do Horizonte

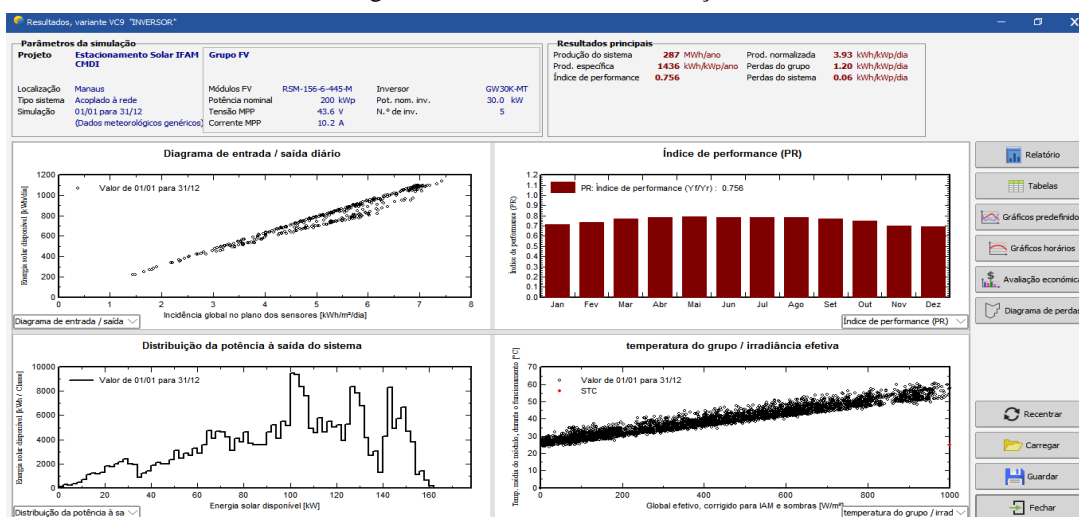


Fonte: Adaptado do Programa de Simulação *PVSystem*, 2023.

## d) Simulação

Nesta parte foi feito a execução da simulação para que gerasse os relatórios. Na Figura 21 é mostrado o relatório da simulação, nela é possível verificar os resultados principais da simulação assim como os parâmetros usados para a simulação. O relatório completo da simulação encontra-se no Anexo C.

Figura 150 - Relatório de Simulação



Fonte: Adaptado do Programa de Simulação PVsyst, 2023.

Na Figura 22 é possível verificar o resultado da geração de Energia.

Figura 158 - Resultado Da Geração De Energia

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
<b>Janeiro</b>	130.9	79.9	25.09	123.9	104.7	18.04	1.563	0.000	17.76	1.563
<b>Fevereiro</b>	144.8	76.0	26.11	139.4	122.3	20.82	1.412	0.068	20.42	1.344
<b>Março</b>	155.9	81.0	26.91	154.7	144.5	24.37	1.563	0.000	23.97	1.563
<b>Abril</b>	138.4	74.7	25.43	141.6	133.1	22.65	1.513	0.000	22.29	1.512
<b>Mai</b>	131.7	74.8	25.07	138.1	129.5	22.19	1.563	0.000	21.84	1.563
<b>Junho</b>	152.1	55.3	26.49	164.2	155.2	26.20	1.513	0.000	25.78	1.512
<b>Julho</b>	174.2	53.0	26.18	187.5	177.8	29.97	1.563	0.000	29.47	1.563
<b>Agosto</b>	171.2	64.5	26.60	179.0	169.7	28.51	1.563	0.000	28.04	1.563
<b>Setembro</b>	179.6	107.8	27.85	180.8	169.3	28.29	1.513	0.000	27.82	1.512
<b>Outubro</b>	188.1	79.6	27.63	183.0	165.7	27.82	1.563	0.000	27.36	1.563
<b>Novembro</b>	164.1	89.2	28.21	155.6	130.8	22.12	1.513	0.000	21.77	1.512
<b>Dezembro</b>	161.4	80.9	26.42	150.4	123.9	21.19	1.563	0.000	20.86	1.563
<b>Ano</b>	1892.4	916.6	26.50	1898.1	1726.7	292.17	18.405	0.072	287.37	18.333

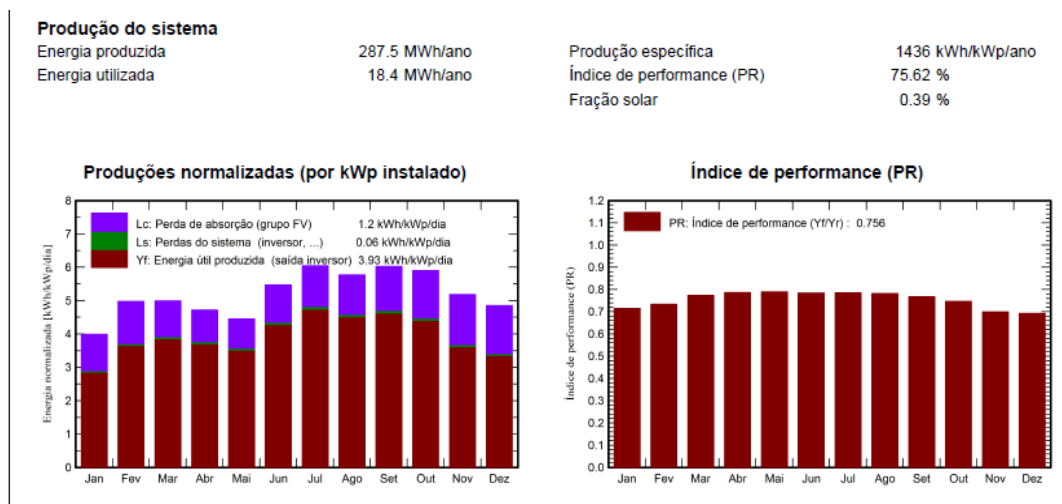
**Legendas**

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_User	Energia fornecida ao consumidor
T_Amb	Temperatura ambiente	E_Solar	Energia do sol
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores	E_Grid	Energia injetada na rede
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras	EFrGrid	Energia de rede

Fonte: Adaptado do Programa de Simulação PVsyst, 2023.

Na Figura 23 é mostrado o gráfico das perdas das e índice de performance das produções normalizadas (por kWp instalado).

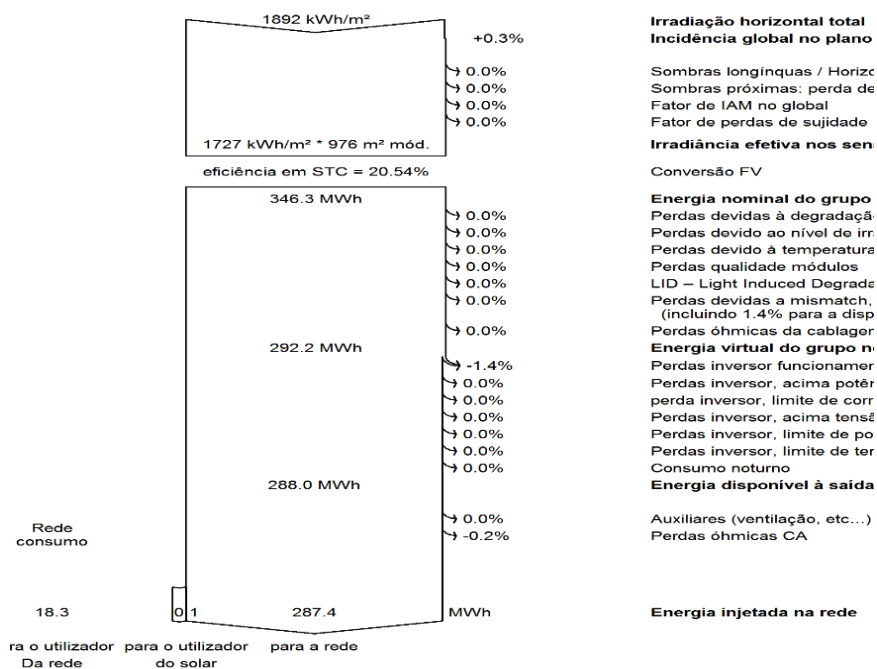
Figura 166 – Estudo de Perda no Sistema Fotovoltaico



Fonte: Adaptado do Programa de Simulação PVSyst, 2023

Na Figura 24 é mostrado o diagrama de perda anual do sistema.

Figura 174 – Diagrama de Perda anual do Sistema Fotovoltaico



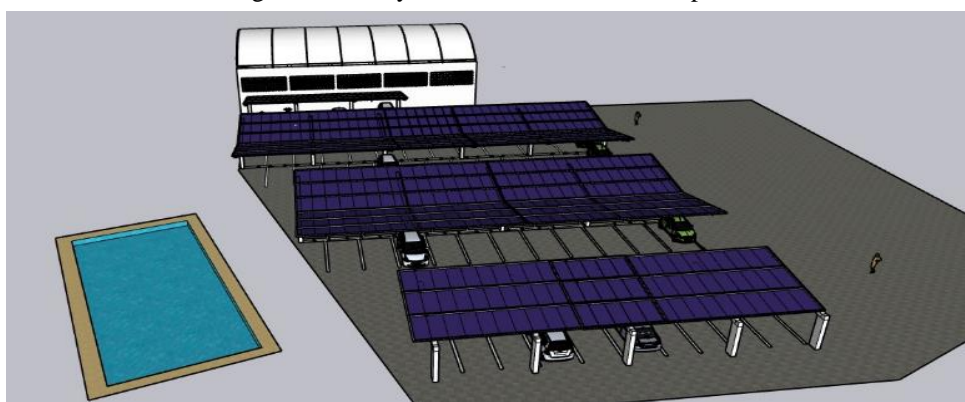
Fonte: Adaptado do Programa de Simulação PVSyst, 2023

### 4.2.3 Configuração do Sistema

Para a configuração e disposição dos painéis no *carport* solar, foi pensado uma estrutura de *carport* solar com seus pilares em forma de Y, para o subsistema A e B, com queda centralizada, considerando um sistema com uma inclinação de  $10^\circ$  e todos os painéis voltado para o norte geográfico, na área do subsistema C foi pensado um *carport* solar também com  $10^\circ$  de inclinação e os painéis voltado para o norte geográfico que fica na direção do ginásio poliesportivo.

A Figuras 25 é mostrado o *layout* em 3D do estacionamento feito através da ferramenta de *software Sketchup*.

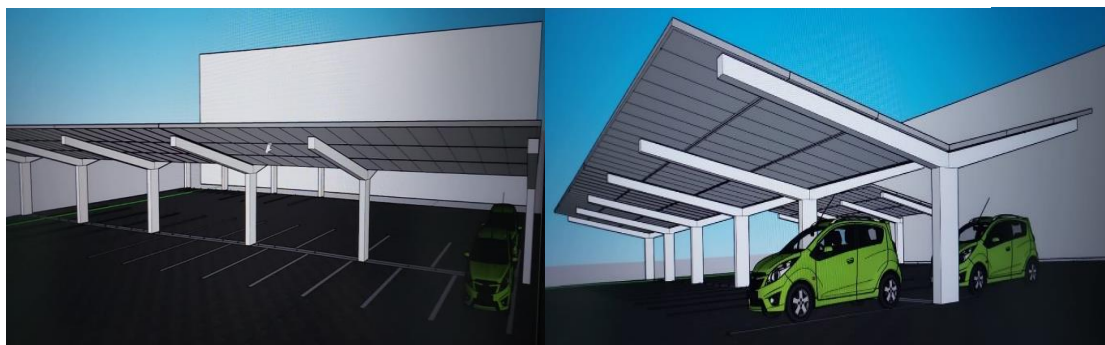
Figura 182 - Layout em 3D do Sistema Proposto



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A Figuras 26 é mostrado o *layout* em 3D do estacionamento feito através da ferramenta de *software Sketchup*.

Figura 190 - Layout em 3D do Sistema Proposto

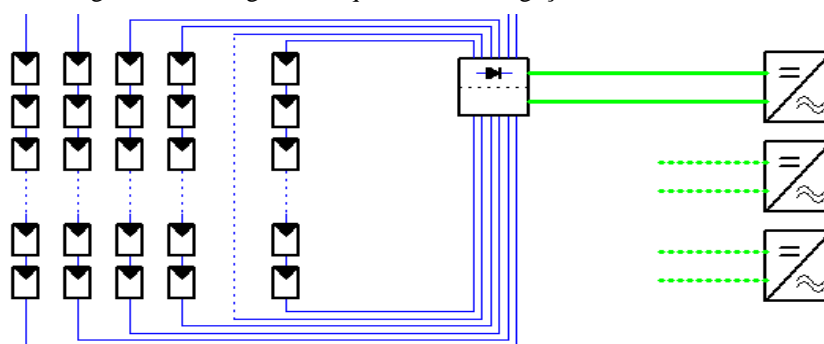


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.



As Figura 27 apresenta o diagrama esquemático do projeto SFCR do Estacionamento Solar.

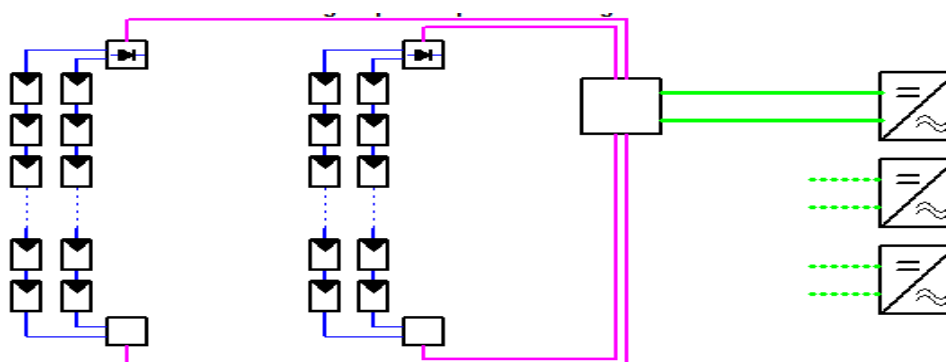
Figura 198 - Diagrama Esquemático de Ligação Painel e Inversor



Fonte: Adaptado do Programa Simulação *PVSystem*, 2023.

As Figura 28 apresenta o diagrama esquemático de ligação do painel e inversor.

Figura 210 - Diagrama Esquemático de Ligação Painel e Inversor



Fonte: Adaptado do Programa Simulação *PVSystem*, 2023.

#### 4.2.4 Casa De Abrigo Inversores

Após estudo in loco, foi definido a área do ginásio poliesportivo que fica de frente com o estacionamento como a melhor área para a construção do abrigo para os inversores, no qual será necessário a construção de uma parede de alvenaria rebocada e pintada na cor branca, podendo ser aproveitado parte do telhado da cobertura já existente.

A Figura 29 é mostrado o ginásio poliesportivo do IFAM.

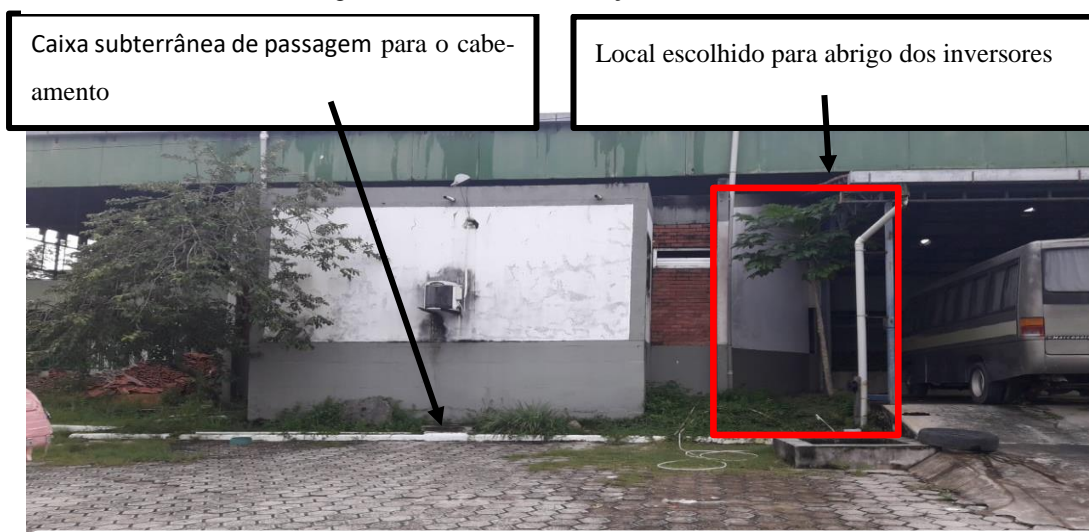
Figura 217 – Area de Instalação dos Inversores



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A Figura 30 apresentam uma imagem ilustrativa da área escolhida para a instalação dos inversores. A proteção física dos cabos poderá ser eletroduto ou eletrocalha, e dimensionada segundo norma da ABNT conforme quantidade e capacidade de fios que ela contém.

Figura 221 - Area de Instalação dos Inversores



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A partir do que foi exposto e comprovado no desenvolvimento deste trabalho por meio de equacionamento matemático com demonstração visual por meio de tabelas e utilização de ferramentas computacionais para comprovação dos dados obtidos, este estudo visou analisar a viabilidade técnica para instalação de um sistema fotovoltaico para 3 áreas de cobertura de estacionamento do IFAM-CMDI localizado em Manaus-AM.

Na simulação feita no *PVSyst* verificou-se que o sistema mostrou automaticamente uma configuração com 6 inversores com potência máxima do sistema FV de 193 kWDC e potência AC de 180 kWAC. Contudo, analisando a distribuição das *strings* por MPPT, foi verificado que nesta configuração não se utilizaria todas as saídas dos inversores. Foi realizado uma nova simulação considerando 5 inversores com potência máxima do sistema FV de 193 kWDC e potência AC de 150 kWAC, onde o sistema do *PVSyst* informou que a potência nominal do grupo é superior a potência FV máxima de entrada do inversor (o inversor está sobredimensionamento) e que esta informação era irrelevante. Diante disso, considerou o uso de 5 inversores na configuração do sistema.

Segundo o portal Solar, o sobredimensionamento do inversor vai certamente vai diminuir o custo do projeto, uma vez que o inversor é um dos itens de maior valor da lista em um projeto e também vai maximizar o desempenho do seu sistema, isso porque os painéis solares raramente produzem tanta energia quanto sua capacidade nominal, e caso isso ocorra, o inversor tem um limitante máximo de potência de saída e o que passar desse limite será ceifado ou mais conhecido como “clipping”.

Diante disso, o sistema do estacionamento solar fotovoltaico proposto e comprovado pelo *PVSyst* possuirá uma potência instalada de 200kWp com 445 painéis e 5 inversores dispostos em uma área de 976m<sup>2</sup>. De acordo com os dados obtidos da comparação feita entre os dois métodos e dispostos na tabela 8, o sistema será capaz de produzir anualmente  $\pm 282,972$  MWh e a energia consumida anualmente pelas cargas será de 18.396 kWh ou 18,396 MWh e injetando na rede interna de energia  $\pm 264,576$  MWh de potência, considerando que durante toda a geração pelo sistema solar será no período diurno e o consumo do estacionamento, será noturno.

Tabela 8 – Comparação entre o sistema Calculado e Simulado (*PVSyst*)

Descrição do Sistema	Calculado	Simulado
Área ocupada (m <sup>2</sup> )	985	976
Potência do Módulo escolhido kWp	445	445
Potência do inversor escolhido kWp	30	30
Quantidade de módulos	450	450
Quant, Modulo em serie	17	15
Quant, Modulo em Paralelo (String)	2	2
Quantidade de módulos série ( <i>string</i> ) por <i>MPPT</i>	34	30
Potência nominal do arranjo (kWp)	201,58	200
Potência do inversor (kWp)	161,268	160
Potência do inversor Saida inversor (kW)	161,268	180
Quantidade de inversores	5	5
Energia anual consumida pelas cargas (MWh)	18,396	18,405
Geração Anual do arranjo (MWh)	282,972	287,544
Energia anual injetada na rede (MWh)	264,576	269,139

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Este estudo considerou a mesma configuração de consumo antes e depois do sistema fotovoltaico. Isso significa que o consumo não irá influenciar no comparativo energético, pois o consumo será o mesmo tanto ligado na rede da concessionária como no gerador fotovoltaico. Neste cenário, foi analisado o comparativo entre o gasto anual de energia pelo IFAM-CMDI com a energia injetado na rede pelo Estacionamento Solar e foi verificado, do ponto de vista técnico, uma atratividade bastante lucrativa com um investimento deste nível.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estamos vivendo tempos de mudanças no setor de geração e uso de energia elétrica no Brasil e no mundo com o advento da tecnologia da energia solar e sua ampla aplicabilidade. O estudo de viabilidade técnica do estacionamento solar através da simulação no *PVSystem* demonstrou ótimos resultados.

Entre os principais resultados obtidos desta simulação estão o fato de o estacionamento solar ser uma ótima alternativa para redução de gasto com o uso da energia elétrica gerada pelo estacionamento solar para o consumo do mesmo, tornando-o autossustentável e ainda podendo o excesso desta geração ser utilizada no uso em outros departamentos da instituição e isso tudo aliado ao seu baixo impacto ambiental que trará um ótimo benefício para o meio ambiente por ser uma fonte de energia limpa, renovável e sustentável. Diante disso, é possível afirmar que o estudo de análise de viabilidade técnica cumpriu seu objetivo, pois as análises dos resultados obtidos revelam que, do ponto de vista técnico, a implementação do estacionamento solar é, sim, viável tecnicamente para geração de energia elétrica conectado à rede no estacionamento do IFAM-CMDI.

Para trabalhos futuros recomendam-se alguns temas: (i) análise econômica e ambiental; (ii) Estudo da geração fotovoltaico considerando os sistemas unificados do estacionamento solar e a usina solar instalada no IFAM-CMDI e (iii) Estudo de dispositivos de proteção elétrica a ser considerado na instalação do sistema.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008, NBR 10899: Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: <[https://www.bca.gov.sg/publications/others/handbook\\_for\\_solar\\_pv\\_systems.pdf](https://www.bca.gov.sg/publications/others/handbook_for_solar_pv_systems.pdf)>. Acesso em 06/09/2022 as 08:35.

ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída. ANEEL, 07/02/2023. Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida#:~:text=ANEEL%20regulamenta%20marco%20legal%20da%20Micro%20e%20Mini-gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADda,-A%20decis%C3%A3o%20ocorreu&text=Ap%C3%B3s%20ampla%20discuss%C3%A3o%20com%20agentes,da%20Micro%20e%20Minigera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADda.>> Acesso em 17/03/2023.

Energia fotovoltaica segue em plena expansão no Brasil. Absolar (2022). Disponível em: < <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-fotovoltaica-segue-em-plena-expansao-no-brasil/>> Acesso em 17/03/2023.

BRASIL. Lei nº 14,300, de 07 de janeiro de 2022. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 de janeiro 2022. Edição 5. Seção I, p.4. Disponível em: < <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>> Acesso em 22/02/2023.

*Carport* em alta no mercado brasileiro de energia solar. Canal Solar (2021). Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/carports-em-alta-no-mercado-brasileiro-de-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 22/02/2023.

*Carport* solar: como funciona o estacionamento que gera energia solar. Portal Solar. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/carport-solar>>. Acesso em: 22/02/2023.

Conta de luz sobe mais que o dobro da inflação no mercado cativo. Abraceel (2022). Disponível em: < <https://abraceel.com.br/blog/2022/01/conta-de-luz-sobe-mais-que-o-dobro-da-inflacao-no-mercado-cativo/>>. Acesso em: 22/02/2023.

Crise energética no Brasil: impactos e consequências. PORTAL SOLAR. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/crise-de-energia-no-brasil-e-no-mundo>>. Acesso em 06/09/2022 as 08:45.

DI SOUZA, Ronilson. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**. Bluesol Energia Solar. 2016. Disponível em: < <https://programaintegradoronline.com.br/wpcontent/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdução-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em: 29/02/2023.

Diferença micro inversor e inversor *string*. Neosolar. Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor/diferenca-micro-inversor-inversor-string#:~:text=Enquanto%20o%20microinversor%20opera%20em,choques%20e%C3%A9tricos%20e%20at%C3%A9%20inc%C3%AAdios.>>. Acesso em 25/02/2023.

Energia fotovoltaica: o que é, como funciona e para que serve. Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acesso em 30/09/2022 as 21:00.

EPE (2022). [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2022. Disponível em < <https://www.epe.gov.br> >. Acesso em: 22 fev. 2022.

Em agosto, ons registra 31 recordes na produção de energia por geração solar e eólica. ONS (2023). Operador Nacional do Sistema Elétrico – Disponível em: <<https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20220906-Em-agosto,-ONS-registra-31-recordes-na-produ%C3%A7%C3%A3o-de-energia-por-gera%C3%A7%C3%A3o-solar-e-e%C3%B3lica.aspx#:~:text=Ao%20longo%20do%20m%C3%AAs%20de,solar%20e%20quatro%20em%20e%C3%B3lica.>>. Acesso em 19/03/2023.

Fontinelle, Carlos Gomes et al. “Sistema fotovoltaico no Aeroporto Internacional de Manaus: análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental de implantação usando simulação computacional.2018.

Greener: Estudo estratégico Geração Distribuída, disponível em <<https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2021/08/Estudo-Estrategico-de-Geracao-Distribuida-2021-Mercado-Fotovoltaico-1o-semester-Versao-Linkedin.pdf>> acesso em 13/09/2022 as 23:15.

Hein, Henrique. Carports em alta no mercado brasileiro de energia solar. Canal Solar, 23 de julho de 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/carports-em-alta-no-mercado-brasileiro-de-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em 25/02/2023

Matriz Energética e Elétrica. EPE – Empresa de pesquisa energética. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em 29/02/2023. MME. Ministério das Minas e Energia. (2022). Boletim Mensal de Energia - Dezembro 22 Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/boletins-mensais-de-energia/2022-2/portugues/12-boletim-mensal-de-energia-dezembro-22/view>>. Acesso em: 25/02/2023.

NBR-16690-2019-consulta-publica.pdf – Solarize. Disponível em: <<https://www.solarize.com.br/downloads/manual-energia-solar/NBR-16690-2019-consulta-publica.pdf>> Acesso em 28/02/2023.

O que são *MPPT* e *MLPE* no inversor solar. NeoSolar. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor/tecnologia-mppt-mlpe-otimizacao-inversor-solar>> Acesso em 28/02/2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. [s.l:s.n.]. 2014.

ZILLES, R. et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Oficina de Textos, 2012.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ª ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

Recursos Energéticos Distribuídos. FGV Energia. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/fgvenergia-recursos-energeticos-book-web.pdf>> Acesso em 11/09/2022 as 12:30.

RÜTHER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

Sua Conta Tarifária e suas modalidades. Amazonas Energia. Disponível em: <<https://website.amazonasenergia.com/sua-conta/tarifas-e-suas-modalidades/>> Acesso em 18/09/2022.

Tolmasquim, M. T. (2016). Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE.



Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica. CRESESB. (2006). Disponível em:< [http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em 13/09/2022 as 23:15.

VALE, B. R. “Análise da Viabilidade Econômica de Implantação de um Estacionamento Solar: Estudo de Caso”, São João del-Rei, UFSJ, 59p., 2018.

## ANEXOS

## ANEXO A — Datasheet RSM156-6-425-445M-G2.3-Plus-IEC1500V-40mm-2019H2-3-EN

# Jäger Plus

## HIGH PERFORMANCE MONOCRYSTALLINE PERC MODULE



**G2.3**

### RSM156-6-425M-445M

**156 CELL**

Mono PERC Module

**425-445Wp**

Power Output Range

**1500VDC**

Maximum System Voltage

**20.5%**

Maximum Efficiency

#### KEY SALIENT FEATURES

-  Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
-  Industry leading lowest thermal co-efficient of power
-  Industry leading 12 years product warranty
-  Excellent low irradiance performance
-  Excellent PID resistance
-  Positive tight power tolerance
-  Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
-  Module Imp binning radically reduces string mismatch losses
-  Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements
-  Certified to withstand severe environmental conditions
  - Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
  - Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
  - Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance



#### RISEN ENERGY CO., LTD.

Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy

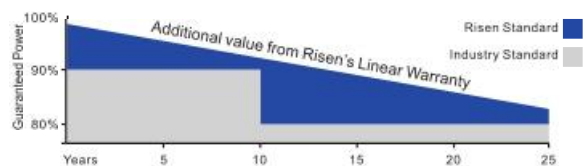
Tashan Industry Zone, Meilin, Ninghai 315609, Ningbo | PRC

Tel: +86-574-59953239 Fax: +86-574-59953599

E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com

#### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty



\* Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by Risen Energy Co., Ltd

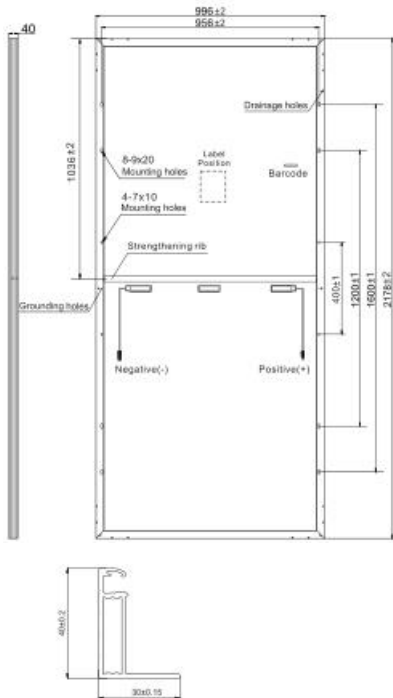


Preliminary  
For Global Market

THE POWER OF RISING VALUE

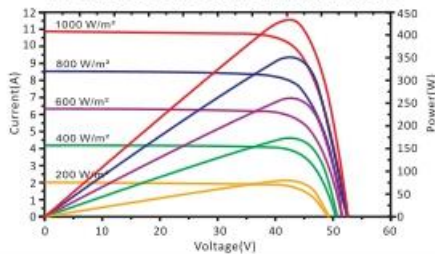
## Dimensions of PV Module

Unit: mm



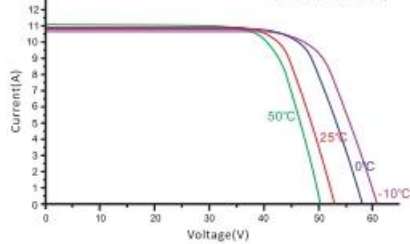
### RSM156-6-435M

#### I-V characteristics at different irradiances



#### I-V characteristics at different temperatures

(AM1.5, 1000W/m²)



### Our Partners:

## ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM156-6-425M	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	425	430	435	440	445
Open Circuit Voltage-Voc(V)	52.23	52.38	52.50	52.62	52.70
Short Circuit Current-Isc(A)	10.38	10.47	10.57	10.67	10.77
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	43.50	43.60	43.70	43.80	43.90
Maximum Power Current-Impp(A)	9.78	9.87	9.97	10.06	10.15
Module Efficiency (%) *	19.6	19.8	20.1	20.3	20.5

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

\* Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

## ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM156-6-425M	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M
Maximum Power-Pmax (Wp)	318.0	321.8	325.5	329.3	332.9
Open Circuit Voltage-Voc (V)	48.10	48.20	48.30	48.40	48.48
Short Circuit Current-Isc (A)	8.51	8.59	8.67	8.75	8.83
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	39.80	39.90	40.00	40.10	40.24
Maximum Power Current-Impp (A)	7.98	8.06	8.13	8.21	8.27

NMOT: Irradiance at 800 W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

## MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline, 9BB
Cell configuration	156 cells (6×13+6×13)
Module dimensions	2178×996×40mm
Weight	25.5kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm <sup>2</sup> (12AWG), Positive(+)270mm, Negative(-)270mm
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

## TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	45°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

## PACKAGING CONFIGURATION

	40ft	20ft
Number of modules per container	540	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	20	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2205×1130×1130	2205×1130×1130
Box gross weight[kg]	745	745

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

©2019 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.



## ANEXO B — Datasheet 25-36kW I Trifásico I 3 MPPTs

## Linha SMT

GOODWE

Dados Técnicos	GW25K-MT	GW30K-MT	GW36K-MT
<b>Entrada CC</b>			
Potência Máxima de Entrada (kW)	32.5	39.0	42.9
Tensão Máxima de Entrada (V)	1100	1100	1100*
Faixa de Operação MPPT (V)	200 – 950	200 – 950	200 – 950
Tensão de partida (V)	180	180	180
Tensão Nominal de Entrada (V)	600	600	600
Corrente Máxima de Entrada por MPPT (A)	30	30	30
Corrente Máxima de Curto por MPPT (A)	37.5	37.5	37.5
Número de MPPTs	3	3	3
Número de strings por MPPT	2	2	2
<b>Saída CA</b>			
Potência nominal de saída (kW)	25	30	36**
Potência nominal aparente de saída (kVA)	25	30	36**
Potência ativa máx. de saída (kW)	25	30	36
Potência aparente máx. de saída (kVA)	25	30	36
Potência nominal a 40°C (kW)	25	30	36
Potência máx. a 40°C (kW)	25	30	36
Tensão nominal de saída (V)	380, 3L / N / PE ou 3L / PE	380, 3L / N / PE ou 3L / PE	380, 3L / N/PE ou 3L / PE
Frequência nominal da rede CA (Hz)	50 / 60	50 / 60	50 / 60
Corrente Máxima de Saída (A)	40.0	48.0	53.3
Fator de potência de saída	-1 (Ajustável 0.8 capacitivo - 0.8 indutivo)		
Distorção máx. harmônica total	<3%	<3%	<3%
<b>Eficiência</b>			
Eficiência Máxima	98.7%	98.8%	98.8%
<b>Proteções</b>			
Monitoramento de corrente de string FV	Integrado	Integrado	Integrado
Deteção de Resistência de Isolamento FV	Integrado	Integrado	Integrado
Monitoramento de corrente residual	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção contra polaridade reversa CC	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção anti-ilhamento	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção Sobrecorrente de Saída	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção de Curto de Saída	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção de Sobretensão de Saída	Integrado	Integrado	Integrado
Chave seccionadora CC	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção Contra Surtos CC (DPS)	Tipo III (Tipo II opcional)	Tipo III (Tipo II opcional)	Tipo III (Tipo II opcional)
Proteção Contra Surtos CA (DPS)	Tipo III (Tipo II opcional)	Tipo III (Tipo II opcional)	Tipo III (Tipo II opcional)
AFCI	Opcional	Opcional	Opcional
Desligamento remoto	Opcional	Opcional	Opcional
Dispositivo de recuperação PID	Opcional	Opcional	Opcional
<b>Dados gerais</b>			
Faixa de temperatura operacional (°C)	-30 – +60	-30 – +60	-30 – +60
Umidade relativa	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%
Altitude operacional máx. (m)	3000	3000	3000
Método de resfriamento	Ventoinha Inteligente	Ventoinha Inteligente	Ventoinha Inteligente
Interface de usuário	LED, LCD (Opcional), WLAN + APP		
Comunicação	RS485, WiFi, USB, PLC (Opcional)		
Protocolos de comunicação	Modbus-RTU (Compatível com SunSpec)		
Peso (kg)	40.0	40.0	40.0
Dimensões (L x A x P mm)	480 x 590 x 200	480 x 590 x 200	480 x 590 x 200
Topologia	Não isolado	Não isolado	Não isolado
Consumo Noturno Próprio (W)	<1	<1	<1
Grau de Proteção	IP65	IP65	IP65
Conector CC	MC4 (Max.6mm <sup>2</sup> )	MC4 (Max.6mm <sup>2</sup> )	MC4 (Max.6mm <sup>2</sup> )
Conector CA	Terminal OT / DT (máx.25mm <sup>2</sup> )		

\* Funções ou dispositivos opcionais são adquiridos separadamente.

\*\* Todas as imagens mostradas são apenas para referência. A aparência real pode variar.

\* Por favor, consulte o site da GoodWe para verificar os certificados atualizados.

\*\*1: 33kW para Itália, 36kW para outro país.

## ANEXO C — Relatório da Simulação



Versão 7.2.8

# PVsyst - Relatório da simulação

## Sistema acoplado à rede

Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

Sistema de sheds

Potência sistema: 200 kWp

Manaus - Brasil



## Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

### Resumo do projeto

<b>Localização geográfica</b>	<b>Localização</b>	<b>Parâmetros projeto</b>
Manaus	Latitude -3.13 °S	Albedo 0.20
Brasil	Longitude -60.02 °W	
	Altitude 72 m	
	Fuso horário UTC-4	
<b>Dados meteorológicos</b>		
Japiinlândia		
PVGIS api TMY		

### Resumo do sistema

<b>Sistema acoplado à rede</b>	<b>Sistema de sheds</b>	
Simulação para o ano n° 10		
<b>Orientação do plano dos módulos</b>	<b>Sombras próximas</b>	<b>Exigências do consumidor</b>
Plano fixo	Sombras lineares	Consumo doméstico
Inclinação/Azimute 10 / 0 °		Constantes ao longo do ano
		Média 50 kWh/Dia
<b>Informação do sistema</b>		
<b>Grupo FV</b>	<b>Inversores</b>	
Número de módulos 450 unidades	Número de unidades 5 unidades	
Pnom total 200 kWp	Pnom total 150 kWca	
	Rácio Pnom 1.335	

### Resumo dos resultados

Energia produzida 287.5 MWh/ano	Produção específica 1436 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR 75.62 %
Energia utilizada 18.4 MWh/ano		Fração solar 0.39 %

### Índice

Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Definição do horizonte	6
Definição das sombras próximas - Diagrama das iso-sombras	7
Exigências detalhadas do consumidor	8
Resultados principais	9
Diagrama de perdas	10
Gráficos especiais	11
Avaliação P50 – P90	12
Balanco de emissões CO <sub>2</sub>	13



## Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

## Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede		Sistema de sheds		Modelos utilizados	
<b>Orientação do plano dos módulos</b>		<b>Configuração dos sheds</b>		Transposição Perez	
Orientação		Nr. de sheds	3 unidades	Difuso	Importado
Plano fixo		<b>Dimensões</b>		Cicum solar	separado
Inclinação/Azimute	10 / 0 °	Esp. entre sheds	15.2 m		
		Largura módulos	16.1 m		
		Taxa ocup. do solo (GCR)	105.6 %		
<b>Horizonte</b>		<b>Sombras próximas</b>		<b>Exigências do consumidor</b>	
Altura média	1.2 °	Sombras lineares		Consumo doméstico	
				Constantes ao longo do ano	
				Média	50 kWh/Dia

## Características do grupo FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Risen Solar	Fabricante	Goodwe
Modelo	RSM-156-6-445-M	Modelo	GW30K-MT
(Parâmetros definidos pelo utilizador)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	445 Wp	Potência unitária	30.0 kWca
Número de módulos FV	450 unidades	Número de inversores	5 units
Nominal (STC)	200 kWp	Potência total	150 kWca
Módulos	30 Strings x 15 Em série	Tensão de funcionamento	200-950 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Potência máx. (=>30°C)	33.0 kWca
Pmpp	182 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.34
Umpp	592 V		
I mpp	307 A		
<b>Potência FV total</b>		<b>Potência total inversor</b>	
Nominal (STC)	200 kWp	Potência total	150 kWca
Total	450 módulos	N.º de inversores	5 unidades
Superfície módulos	976 m²	Rácio Pnom	1.34
Superfície célula	849 m²		

## Perdas do grupo

Perdas sujidade grupo		Fator de perdas térm.		Perdas de cablagem DC	
Fração perdas	3.0 %	Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	3.1 mΩ
		Uc (const.)	29.0 W/m²K	Fração perdas	0.1 % em STC
		Uv (vento)	0.0 W/m²K/m/s		
<b>Perdas diódo série</b>		<b>LID - "Light Induced Degradation"</b>		<b>Perdas de qualidade dos módulos</b>	
Queda de tensão	0.7 V	Fração perdas	2.0 %	Fração perdas	-0.8 %
Fração perdas	0.1 % em STC				
<b>Perdas dos módulos com mismatch</b>		<b>Perdas devidas a mismatch, em fiadas</b>		<b>Degradação média dos módulos</b>	
Fração perdas	2.0 % no MPP	Fração perdas	0.1 %	Ano nº	10
				Fator de perda	0.4 %/ano
				<b>Mismatch devido à degradação</b>	
				RMS da dispersão de Imp	0.4 %/ano
				RMS da dispersão de Vmp	0.4 %/ano



**PVsyst V7.2.8**

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

**Perdas do grupo**

**Fator de perda IAM**

Efeito de incidência (IAM): Fresnel, revestimento AR,  $n(\text{vidro})=1.526$ ,  $n(\text{AR})=1.290$

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000





Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8**Perdas do sistema****Perdas auxiliares****Perdas de cablagem CA****Linha de saída do inversor até ao ponto de injeção**

Tensão inversor	400 Vac tri
Fração perdas	0.37 % em STC
<b>Inversor: GW30K-MT</b>	
Secção cabos (5 Inv.)	Cobre 5 x 3 x 25 mm <sup>2</sup>
Comprimento médio dos cabos	20 m



## Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

## Definição do horizonte

Horizon from PVGIS website API, Lat=-3°7'48", Long=-60°1'12", Alt=72m

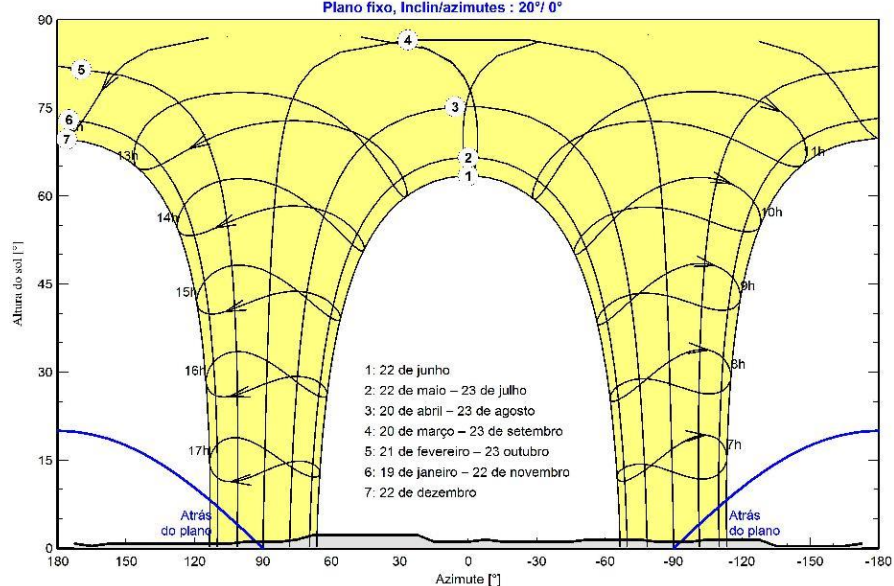
Altura média	1.2 °	Fator albedo	0.92
Fator difuso	1.00	Fração albedo	100 %

## Perfil do horizonte

Azimute [°]	-173	-165	-135	-128	-105	-98	-83	-75	-53	-45	-15	-8
Altura [°]	0.8	0.4	0.4	1.5	1.5	1.1	1.1	1.5	1.5	1.1	1.1	1.5
Azimute [°]	0	15	23	68	75	83	98	105	158	165	173	
Altura [°]	1.1	1.1	2.3	2.3	1.5	1.1	1.1	0.8	0.8	0.4	0.8	

## Trajetórias solares (diagrama Altura/Azimute)

Plano fixo, Inclín/azimutes : 20°/ 0°





PVsyst V7.2.8

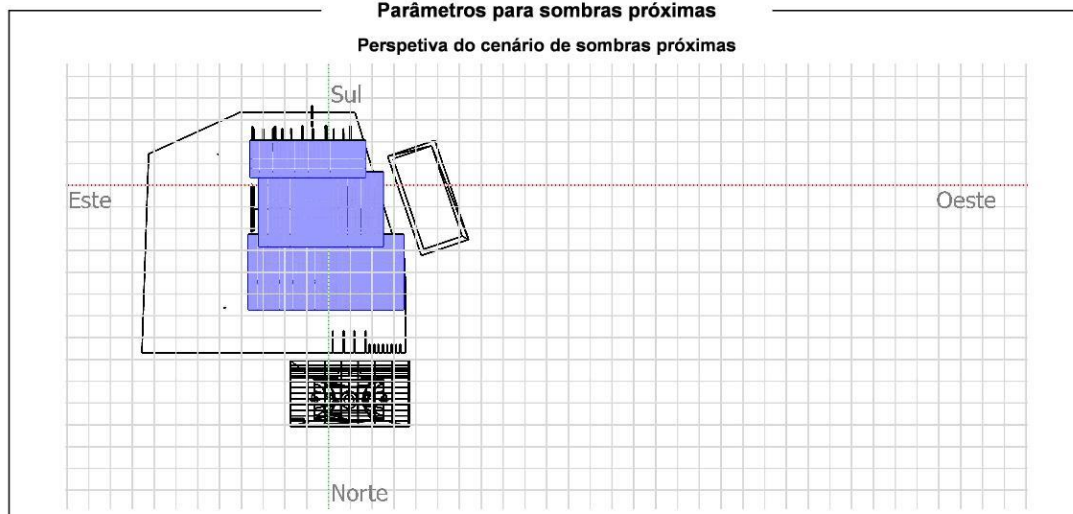
VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

### Parâmetros para sombras próximas

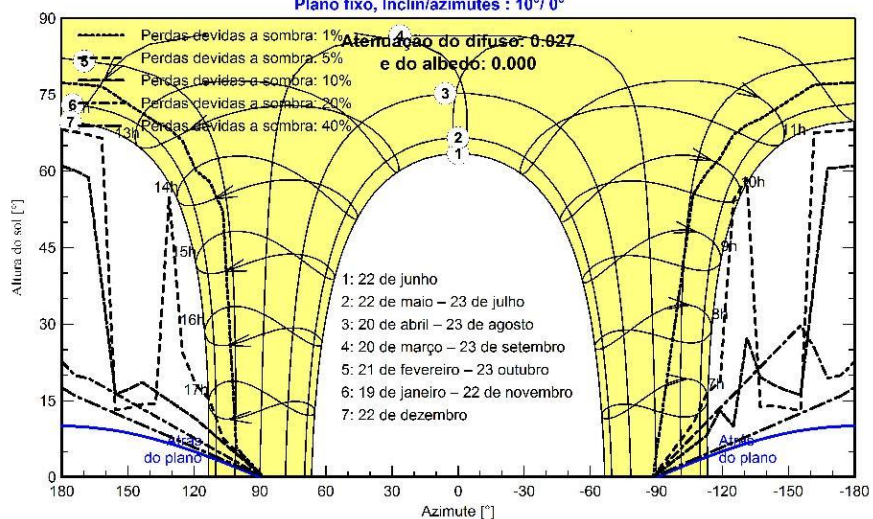
Perspetiva do cenário de sombras próximas



### Diagrama das iso-sombras

Estacionamento Solar IFAM CMDI - Tempo legal

Plano fixo, Inclín/azimutes : 10°/ 0°





## Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

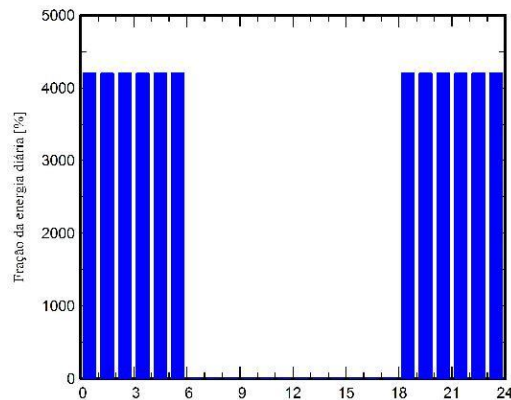
### Exigências detalhadas do consumidor

Consumo doméstico, Constantes ao longo do ano, média = 50 kWh/dia

#### Valores anuais

	Número	Potência	Utilização	Energia
		W	Hora/dia	Wh/dia
Refletor Tipo Iluminação Pública	100	1250W tot	12.0	42000
Lâmpada globo led 65w 6500K sorte	128	120W tot	12.0	8400
Consumo modo stand by			24.0, 7 dias / 7	24
<b>Energia total diária</b>				<b>50424Wh/dia</b>

#### Distribuição horária





## Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

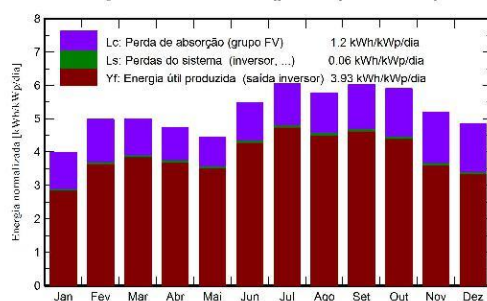
## Resultados principais

## Produção do sistema

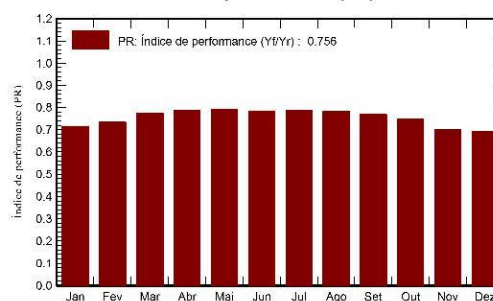
Energia produzida 287.5 MWh/ano  
Energia utilizada 18.4 MWh/ano

Produção específica 1436 kWh/kWp/ano  
Índice de performance (PR) 75.62 %  
Fração solar 0.39 %

## Produções normalizadas (por kWp instalado)



## Índice de performance (PR)



## Balanços e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Janeiro	130.9	79.9	25.09	123.9	104.7	18.04	1.563	0.000	17.76	1.563
Fevereiro	144.8	76.0	26.11	139.4	122.3	20.82	1.412	0.068	20.42	1.344
Março	155.9	81.0	26.91	154.7	144.5	24.37	1.563	0.000	23.97	1.563
Abril	138.4	74.7	25.43	141.6	133.1	22.65	1.513	0.000	22.29	1.512
Mai	131.7	74.8	25.07	138.1	129.5	22.19	1.563	0.000	21.84	1.563
Junho	152.1	55.3	26.49	164.2	155.2	26.20	1.513	0.000	25.78	1.512
Julho	174.2	53.0	26.18	187.5	177.8	29.97	1.563	0.000	29.47	1.563
Agosto	171.2	64.5	26.60	179.0	169.7	28.51	1.563	0.000	28.04	1.563
Setembro	179.6	107.8	27.85	180.8	169.3	28.29	1.513	0.000	27.82	1.512
Outubro	188.1	79.6	27.63	183.0	165.7	27.82	1.563	0.000	27.36	1.563
Novembro	164.1	89.2	28.21	155.6	130.8	22.12	1.513	0.000	21.77	1.512
Dezembro	161.4	80.9	26.42	150.4	123.9	21.19	1.563	0.000	20.86	1.563
Ano	1892.4	916.6	26.50	1898.1	1726.7	292.17	18.405	0.072	287.37	18.333

## Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_User	Energia fornecida ao consumidor
T_Amb	Temperatura ambiente	E_Solar	Energia do sol
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores	E_Grid	Energia injetada na rede
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras	EFrGrid	Energia de rede



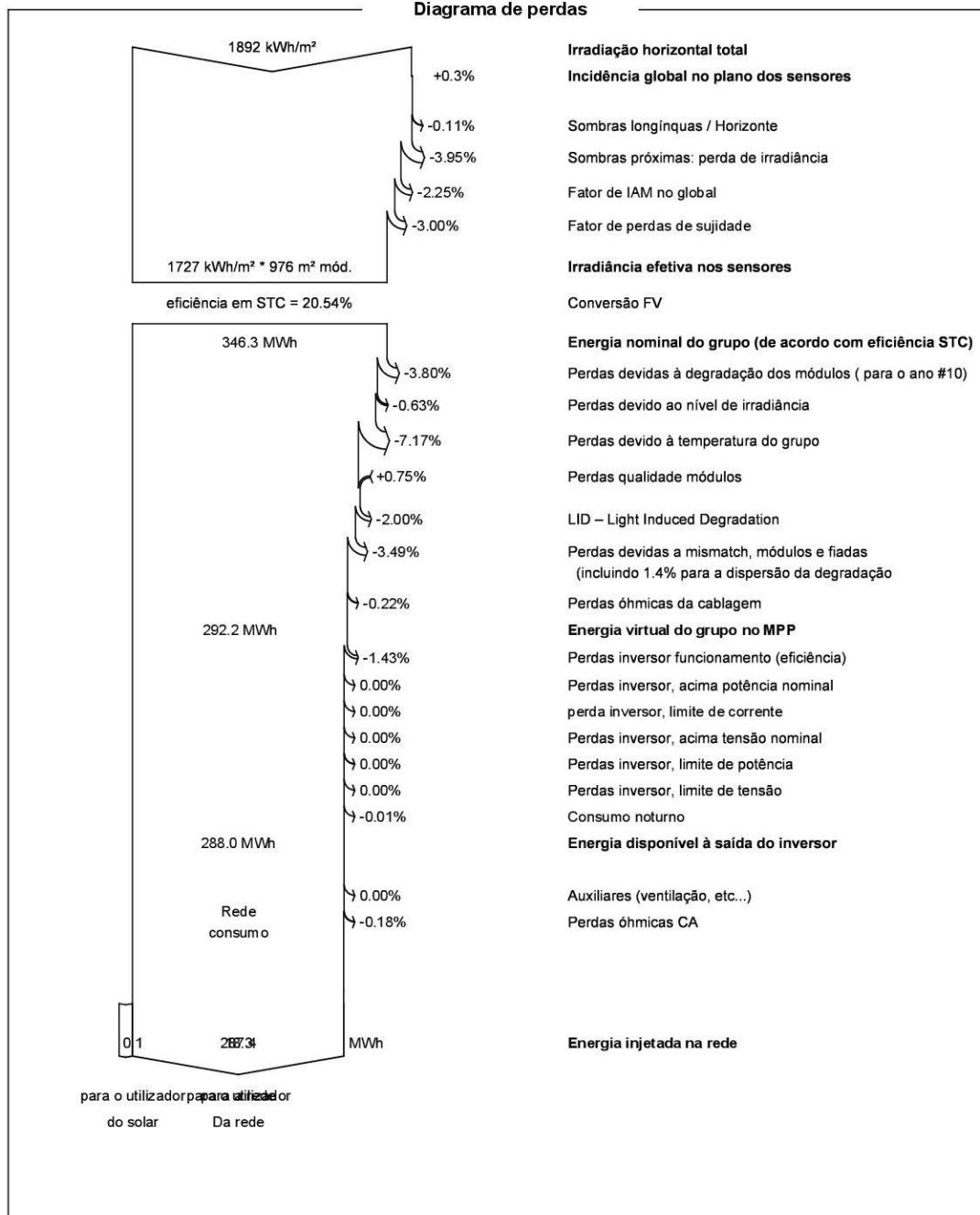
PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

### Diagrama de perdas





Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

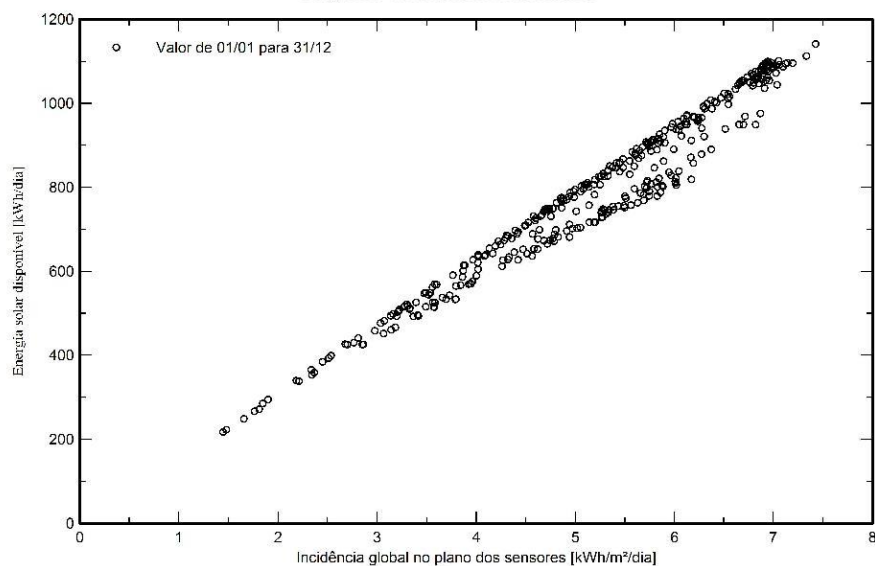
Variante: INVERSOR

PVsyst V7.2.8

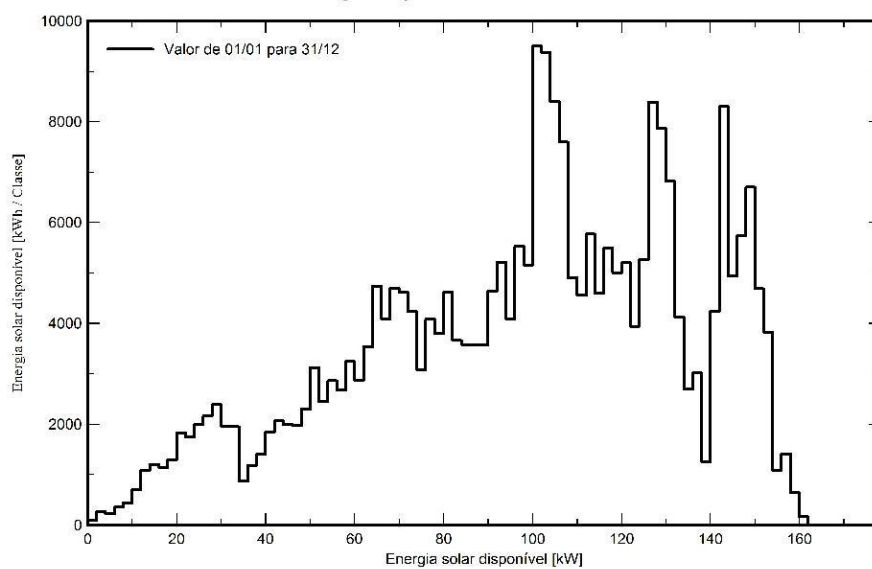
VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

## Gráficos especiais

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema







PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

### Avaliação P50 – P90

#### Dados meteorológicos

Origem PVGIS api TMY  
Tipo Não definido  
Variação de um ano para o outro (Variância) 0.5 %  
Desvio especificado

#### Variação global (meteorologia e sistema)

Variação (Soma quadrática) 1.9 %

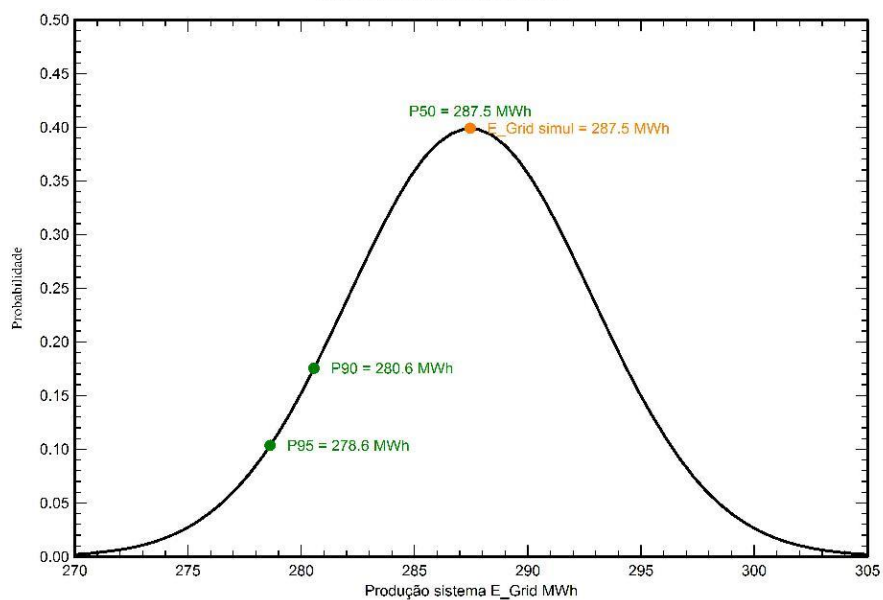
#### Incertezas sobre a simulação e os parâmetros

Parâm./modelo do módulo FV 1.0 %  
Incerteza eficiência do inversor 0.5 %  
Incertezas sujidade e mismatch 1.0 %  
Incerteza acerca da degradação 1.0 %

#### Probabilidade de produção anual

Variação 5.4 MWh  
P50 287.5 MWh  
P90 280.6 MWh  
P95 278.6 MWh

#### Distribuição de probabilidade







PVsyst V7.2.8

VC8, Data da simulação: 17/06/23 15:30  
com v7.2.8

Projeto: Estacionamento Solar IFAM CMDI

Variante: INVERSOR

### Balanco de emissões CO<sub>2</sub>

Total: 369.9 tCO<sub>2</sub>

#### Emissões geradas

Total: 54.08 tCO<sub>2</sub>

Origem: Cálculo em detalhe na tabela abaixo:

#### Emissões evitadas

Total: 465.7 tCO<sub>2</sub>

Produção do sistema: 287.46 MWh/ano

LCE - Emissões da rede: 81 gCO<sub>2</sub>/kWh

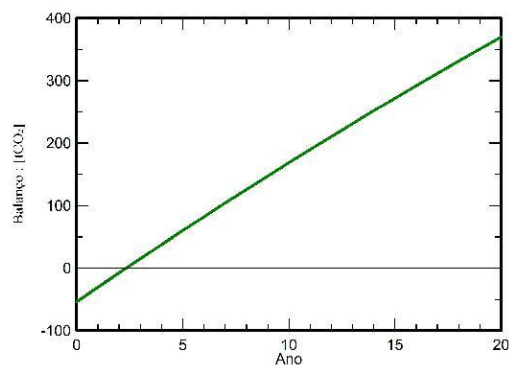
Origem: Lista TEA

País: Brazil

Tempo de vida: 20 anos

Deterioração anual: 1.0 %

#### Economia de emissões de CO<sub>2</sub> em função do tempo



#### Pormenores das emissões durante o ciclo de vida do sistema

Item	LCE	Quantidade	Subtotal
			[kgCO <sub>2</sub> ]
Módulos	1674 kgCO <sub>2</sub> /kWp	32.0 kWp	53642
Suporta	0.54 kgCO <sub>2</sub> /kg	720 kg	389
Inversores	53.5 kgCO <sub>2</sub> /unidades	1.00 unidades	53.5



# PVsyst 7

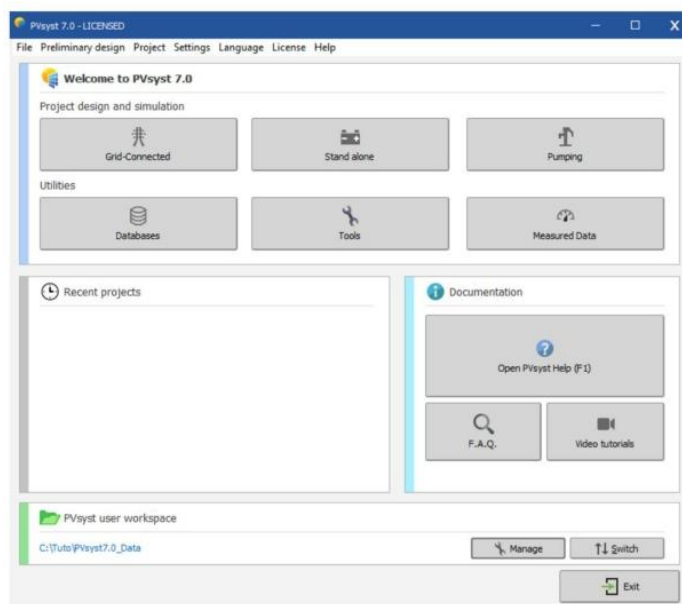
## Grid-connected



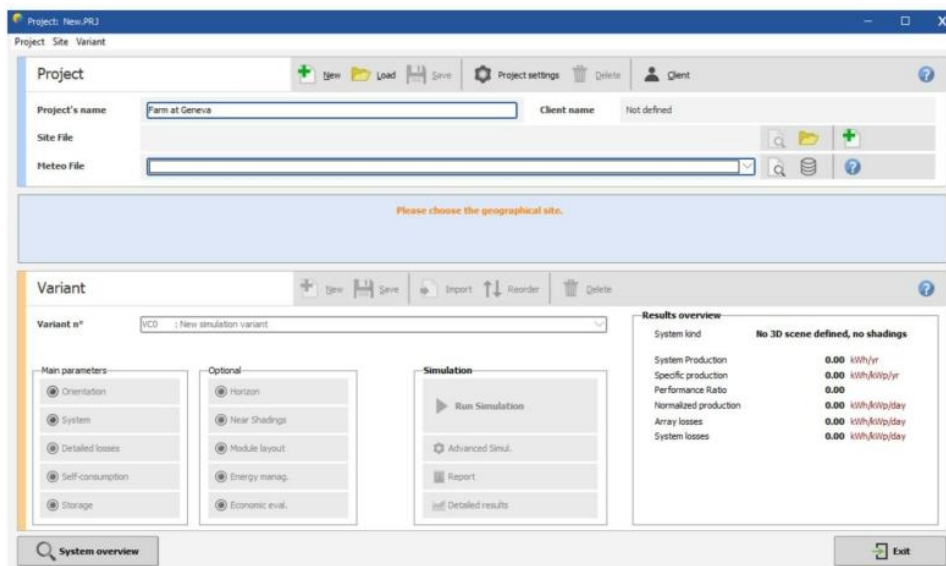
## Parte 1: Abordagem Básica - Meu Primeiro Projeto

### 1- Primeiro contato com *PVSystem*

Ao abrir o *PVSystem*, você chega à página principal:



Isso dá acesso às quatro partes principais do programa: “Projeto e simulação” é a parte principal do software e é usado para o estudo completo de um projeto. Envolve a escolha dos dados meteorológicos, projeto do sistema, estudos de sombreamento, determinação de perdas e avaliação econômica. A simulação é realizada ao longo de um ano inteiro em etapas de hora em hora e fornece um relatório completo e muitos resultados adicionais. “Projetos recentes” permite que você encontre e modifique rapidamente seus projetos recentes. A “Documentação” irá ajudá-lo na realização de suas diferentes simulações com a ajuda de tutoriais em PDF, vídeos e um FAQ. “*PVSystem user Workspace*” contém todos os dados criados pelo usuário. O local padrão é **C: \Users\<username>\PVSystem7.0\_Data** , mas isso pode ser alterado pelo usuário.



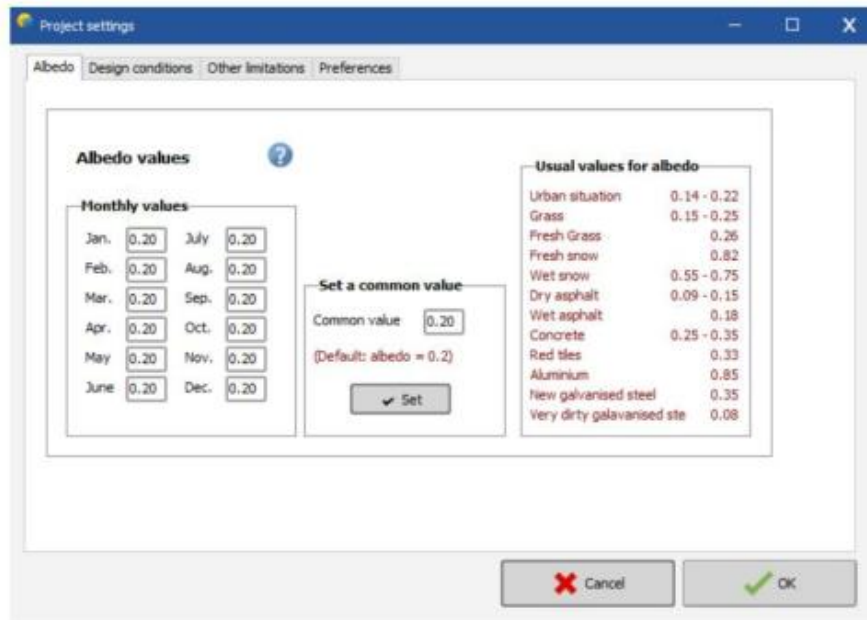
Ao escolher o projeto "Conectado à rede", você obterá o seguinte painel para o gerenciamento de um projeto: O painel tem duas partes: as definições básicas do projeto e o gerenciamento de variantes do sistema.

#### *Etapas no desenvolvimento de um projeto*

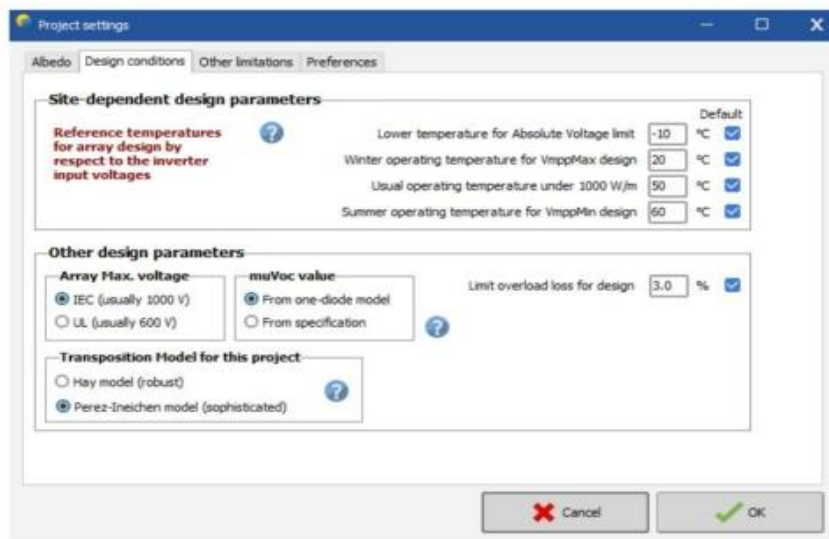
Ao desenvolver um projeto no *PVSyst*, é recomendável proceder em pequenos passos incrementais:

- Criar um projeto especificando a localização geográfica e os dados meteorológicos.
- Defina uma variante básica do sistema, incluindo apenas a orientação dos módulos fotovoltaicos, a potência necessária ou área disponível e o tipo de módulos fotovoltaicos e inversores que você gostaria de usar. O *PVSyst* proporá uma configuração básica para esta escolha e definirá valores padrão razoáveis para todos os parâmetros necessários para um primeiro cálculo. Então você pode simular esta variante e salvá-la. Será a primeira aproximação grosseira que será refinada em iterações sucessivas.
- Definir variantes sucessivas adicionando progressivamente perturbações a este primeiro sistema, por exemplo, longe sombreamentos, quase sombreamentos, parâmetros de perda específicos, avaliação econômica, etc. Você deve simular e salvar cada variante para poder compará-los e entender o impacto de todos os detalhes que você está adicionando à simulação.





A segunda guia na caixa de diálogo de parâmetros do projeto contém a página "Condições de projeto".

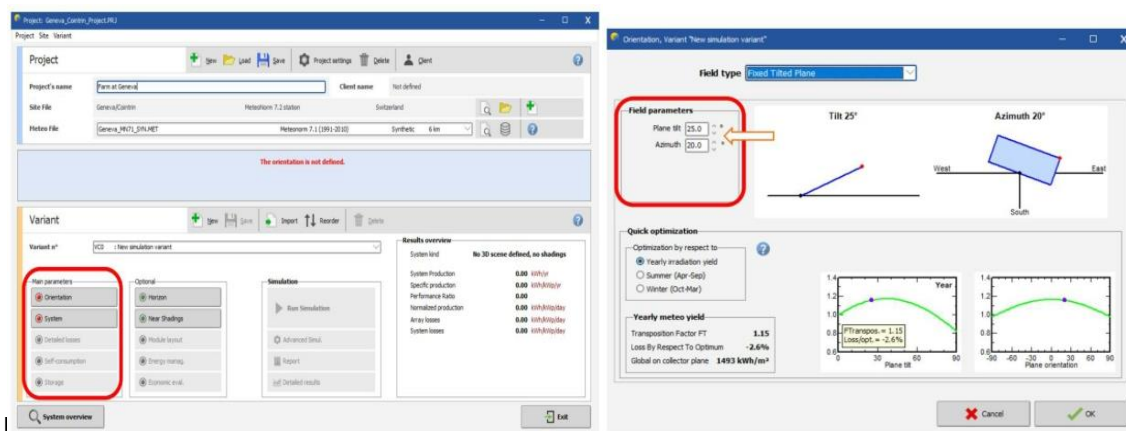


## Salvando o Projeto

Depois de definir o local e a entrada meteorológica do projeto, você pode criar a primeira variante. Você notará que no início existem 2 botões marcados em vermelho: “Orientação” e “Sistema”. A cor vermelha significa que esta variante do projeto ainda não está pronta para a simulação, é necessária uma entrada adicional.

Os parâmetros básicos que devem ser definidos para qualquer variante, e que ainda não especificamos, são a orientação dos painéis solares, o tipo e número de módulos fotovoltaicos e o tipo e número de inversores que serão usados.

Primeiro, clique em "Orientação". Você obterá a caixa de diálogo de orientação onde deverá fornecer valores para o tipo de campo para a instalação solar e ângulos de inclinação e azimute.

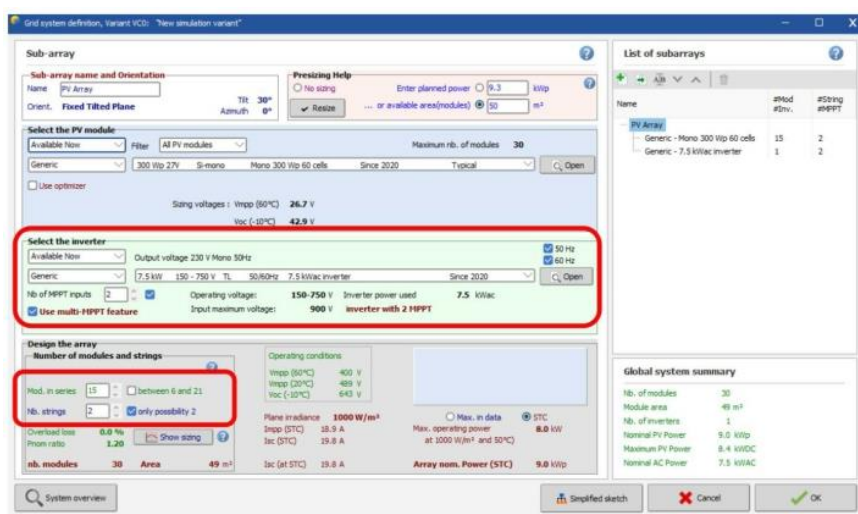


botão "Orientação" ficará verde. Em seguida, clique em "Sistema".

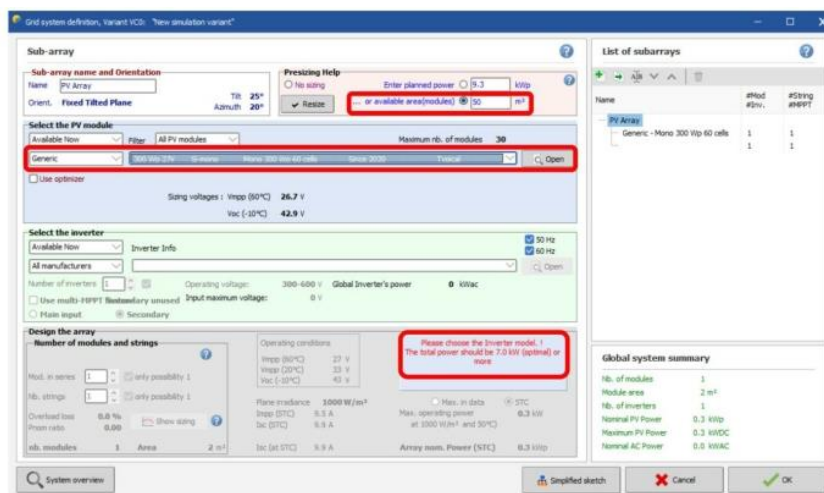
## Selecione um módulo fotovoltaico

Escolha um módulo fotovoltaico no banco de dados. Entre "Todos os módulos", selecione "Genérico" como fabricante e selecione o modelo de 300 W. Na parte inferior direita da caixa de diálogo, o PVsyst exibirá uma dica para escolher o inversor: *"Por favor, escolha o modelo do inversor, a potência total deve ser de 7 kW ou mais."* Selecione o inversor





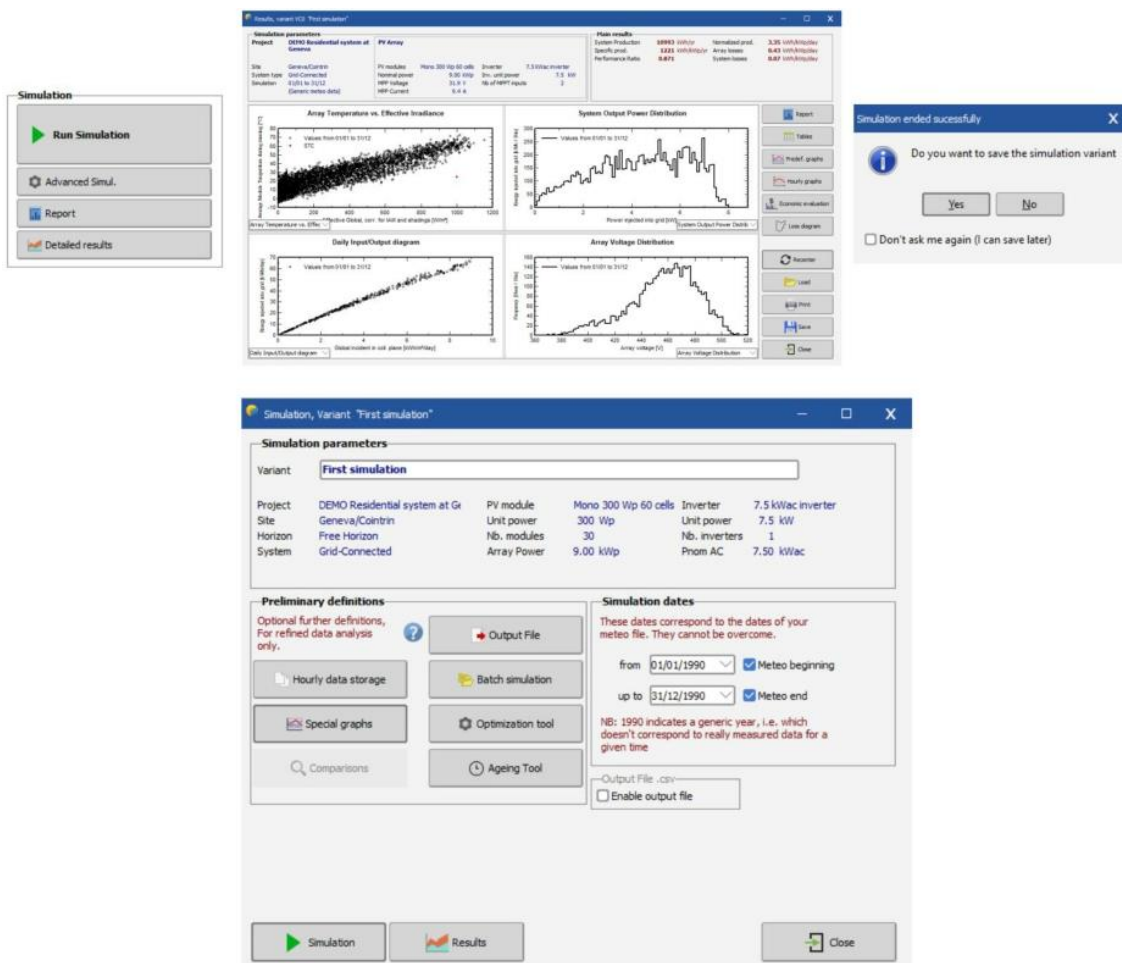
Após definir o tipo de módulo, o inversor e o design do array, o painel azul na parte inferior direita da caixa de diálogo deve estar vazio ou laranja. Se você receber uma mensagem de erro vermelha, verifique todas as escolhas feitas e corrija-as para os valores descritos acima (pode demorar um pouco para que a mensagem se adapte às alterações feitas).





## Executando a primeira simulação

No painel do projeto, todos os botões agora estão verdes (possivelmente laranja) ou desligados. O botão "Executar simulação" é ativado e podemos clicar nele.



## Analisando os resultados

Esta caixa de diálogo mostra na parte superior um breve resumo dos parâmetros de simulação que você deve verificar rapidamente para ter certeza de que não cometeu nenhum erro óbvio nos parâmetros de entrada. À direita está um quadro com seis valores que resumem de uma só vez os principais resultados da simulação. Eles fornecem apenas uma imagem muito grosseira dos resultados e estão lá para detectar rapidamente erros óbvios ou para obter uma primeira impressão de uma mudança ou uma comparação entre variantes do projeto.

Na parte inferior da caixa de diálogo, você verá vários diagramas, que fornecem informações mais detalhadas sobre o comportamento geral do sistema. O "Diagrama Diário de Entrada/Saída" mostra para cada dia simulado, a energia que foi injetada na rede em função da irradiação global incidente no plano coletor. Para um sistema conectado à rede bem dimensionado, isso deve ser aproximadamente uma linha reta que satura levemente para grandes valores de irradiação. Esta ligeira curvatura é um efeito da temperatura. Se alguns pontos (dias) se desviarem em altas irradiâncias, isso é uma indicação de condições de sobrecarga. Para sistemas autônomos, um platô indica operação de sobrecarga (bateria cheia).

