

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THALES MIQUEIAS DOS SANTOS

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA
USINA FOTOVOLTAICA DE 244,75KWP**

PONTA GROSSA

2023

THALES MIQUEIAS DOS SANTOS ✉

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA
USINA FOTOVOLTAICA DE 244,75KWP**

**Design and Implementation of a
244.75kWp Photovoltaic Power Plant**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Frederic Conrad Janzen ✉

PONTA GROSSA

2023



Este Trabalho de Conclusão de Curso está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

THALES MIQUÉIAS DOS SANTOS

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA DE
244,75KWP**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 08/dezembro/2023

Frederic Conrad Janzen
Titulação: Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Josmar Ivanqui
Titulação: Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Felipe Mezzadri
Titulação: Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2023

Dedico este trabalho a minha família
e aos meus amigos, por todo apoio
nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho é fruto dos maiores presentes à mim concedidos por Deus ao longo de toda a minha jornada na graduação.

Agradeço principalmente à Deus, o Senhor que me deu forças.

Agradeço à minha noiva Ana pela paciência, cuidados, e pelo apoio incondicional.

Agradeço minha família por me ajudar e dar a educação que me levou a ser quem sou.

Ao meus amigos Tiago e Ana, papais do Óliver que chegou este ano como um presente de Deus para alegrar nossas vidas. O Tiago aceitou embarcar neste desafio comigo quando a GLOW não passava de uma aposta maluca e arriscada.

A todo time da GLOW que está comigo nessa jornada.

Ao meu orientador Frederic Conrad Jansen pelos conselhos nos momentos cruciais da GLOW e da minha trajetória. Ao meu orientador de IC Rodrigo Frehse Pereira por me inspirar, ultrapassar meus limites, por me apoiar financeiramente em momentos críticos que pensei em abandonar a graduação e por ter sido tão gentil e disponível quando precisei tirar dúvidas.

Aos professores e professoras Murilo Leme, Max Mauro, Fernanda Corrêa, Ângela Klein, Alexandre Sônego, Elói Agostini, Carlos Illafonte, Edinei Felix Reis, Romeu Miqueias Szimoski e todos que de alguma forma me apoiaram e me inspiraram a ser uma pessoa, um aluno e um profissional melhor.

*“Standing in line, To see the show tonight, And there's a light on, Heavy **GLOW**”*
(PEPPERS, 2002)¹. *“Und Gott sprach: Es werde Licht! und es ward Licht.”* (LUTHER, 1534, Mose 1:3)².

¹ “Na fila, Para ver o espetáculo esta noite, E há uma luz acesa, **Brilho** intenso. Esta música de RHCPserviu de inspiração para escolha do nome da minha empresa, a qual reúne pessoas excelentes, ambiciosas e éticas cujos propósitos se baseiam em ser agentes de valor, liderando o momento de transição energética em que vivemos.” (PEPPERS, 2002, tradução).

² “E disse Deus: Haja luz; e houve luz.” (LUTHER, 1534, Genesis 1:3).

RESUMO

Este trabalho apresenta de forma detalhada todas as etapas do dimensionamento, projeto, construção e validação de uma usina fotovoltaica de minigeração. Primeiro, buscou-se contextualizar a geração distribuída no Brasil, trazendo uma visão cronológica e diferenciando-a da geração centralizada. Este trabalho também oferece uma visão geral dos principais componentes de uma usina fotovoltaica, incluindo exemplos reais. A terceira parte do trabalho aborda o dimensionamento da usina e descreve cada parte e etapa da construção com imagens reais do projeto. O resultado do trabalho é discutido, mostrando que a geração entregue após um ano e meio da usina gerando está compatível com o que se esperava. Também foram discutidas algumas experiências interessantes extraídas durante algumas manutenções preventivas e corretivas realizadas na usina fotovoltaica.

Palavras-chave: Energia Solar; Geração Distribuída; Usina de Minigeração.

ABSTRACT

Distributed generation in Brazil has enabled exponential growth in photovoltaic solar energy. With the decline in the prices of photovoltaic panels, improvement in the quality and efficiency of cells, increased competition, and the development of the supply chain and labor force in Brazil, investing in photovoltaic power plants for self-consumption or shared generation has become highly attractive.

This paper provides a detailed overview of the planning, design, construction, and validation of a small-scale photovoltaic power plant. First, it seeks to contextualize distributed generation in Brazil, providing a chronological perspective and distinguishing it from centralized generation. The paper also offers an overview of the key components of a photovoltaic power plant, including real-world examples.

The third part of the paper covers the power plant's sizing, describing each part and stage of construction with actual project images. The results of the study are discussed, demonstrating that the generation delivered after a year and a half of the power plant's operation is in line with expectations. Furthermore, the paper delves into some interesting experiences gained during preventive and corrective maintenance performed on the photovoltaic power plant.

Keywords: Solar Energy; Distributed Generation; Minigeration Plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Partes da estrutura de fixação escolhida.	32
Figura 2 – Detecção de ponto quente (<i>hotspot</i>) painel sombreado por vegetação.	33
Figura 3 – Planta de situação.	35
Figura 4 – Área disponibilizada para implantação da usina fotovoltaica.	39
Figura 5 – Modelagem de possíveis fontes de sombreamento e topologia do terreno - Parte 1.	40
Figura 6 – Modelagem de possíveis fontes de sombreamento e topologia do terreno - Parte 2.	40
Figura 7 – Desenvolvimento da usina nas diferentes etapas.	59
Figura 8 – Distribuição das Strings por Inversor.	77
Fotografia 1 – Exemplo de Painéis Fotovoltaicos Monocristalinos Instalados em Telhado	22
Fotografia 2 – Cravação direta de estacas para usinas solo fixa com cravadeira Gayk – HRE 300.	29
Fotografia 3 – Foto <i>in site</i> das estruturas posicionadas e depois concretadas.	30
Fotografia 4 – Partes da estrutura de fixação escolhida.	31
Fotografia 5 – Área demarcada com estacas de madeira indicando local para perfuração.	44
Fotografia 6 – Etapa de perfuração do solo: para esta obra optou-se por utilizar uma conjunto perfuratriz hidráulico.	45
Fotografia 7 – Vista global das perfuração e posicionamento dos pilares.	45
Fotografia 8 – Imagem de drone após concretagem de todos pilares da UFV.	46
Fotografia 9 – Montagem das estruturas.	47
Fotografia 10 – Acondicionamento dos eletrodutos CC e CA e detalhes das caixas de passagem.	48
Fotografia 11 – Montagem dos módulos fotovoltaicos em andamento.	49
Fotografia 12 – Montagem final dos inversores.	49
Fotografia 13 – Posição do QGBT e montagem conexões internas.	50
Fotografia 14 – Imagem aérea da usina fotovoltaica finalizada.	58
Gráfico 1 – Evolução dos preços médios de distribuição e revenda - óleo diesel S-10. Periodicidade semanal. De 01/06/2020 a 30/04/2022.	15
Gráfico 2 – Curva de geração mensal em 2023 - janeiro a setembro.	55
Gráfico 3 – Curva de geração diária em setembro/2023.	55
Gráfico 4 – Curva de geração dia 16/09/2023.	56
Gráfico 5 – Curva de geração mensal vs esperado em 2022: o gráfico de geração apresenta apenas 58,33% da geração real, pois um dos inversores de 75KW teve seus dados de geração perdidos.	57
Quadro 1 – Dados Elétricos STC do Painel FV Risen 445Wp	23
Quadro 2 – Exemplo derating em inversor de 40KW para diferentes níveis de tensão CC e temperatura.	25
Quadro 3 – Tipos de telhados e estruturas de fixação apropriados.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo energético médio das Unidades Consumidoras.	34
Tabela 2 – Resumo dos Condutores e Proteções CA.	38

LISTA DE SIGLAS

SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
Copel	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
Dis	Distribuição
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
Isc	Short circuit current (Corrente de Curto-circuito)
MPPT	Maximum Power Point Tracking (Rastreador do Ponto de Máxima Potência)
NBR	Norma Brasileira
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RHCP	Red Hot Chili Peppers
RT	Responsável Técnico
SIN	Sistema Integrado Nacional
STC	Standard Test Conditions (Condição de Teste Padrão)
UFV	Usina Fotovoltaica
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Vmpp	Maximum Power Point Voltage (Tensão de Máxima Potência)
Voc	Open Circuit Voltage (Tensão de Circuito Aberto)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL	18
2.2	USINAS DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA	20
2.3	PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	22
2.3.1	Painel Fotovoltaico	22
2.3.2	Inversor	23
2.3.3	<i>Derating</i> por Temperatura dos Inversores	25
2.3.4	Cabo Solar	25
2.3.5	Estruturas de Fixação	26
2.3.6	Proteções CC	27
2.3.7	Proteções CA	28
2.4	FATORES CONSTRUTIVOS DAS USINAS COM ESTRUTURAS DE SOLO FIXA	28
2.4.1	Tipos de Estrutura Solo	28
2.4.2	Aspectos do Terreno	31
2.4.3	Acomodação e Instalação dos Inversores	33
3	DESENVOLVIMENTO: DIMENSIONAMENTO, PROJETO E CONSTRUÇÃO DA UFV	34
3.1	MÉTODOLOGIA DE CÁLCULO E SIMULAÇÕES	34
3.1.1	Determinando a Potência de Pico e de Inversores da Usina	35
3.1.2	Dimensionamento das Strings	37
3.1.2.1	Dimensionamento dos Condutores e Proteções CA	38
3.2	SIMULAÇÕES DA GERAÇÃO PROPOSTA	38
3.2.1	Análise Qualitativa do Terreno	39
3.2.2	<i>Softwares</i> de Simulação	40
3.2.3	Conexão à Rede Interna da Fazenda	41
3.3	DOCUMENTAÇÃO, HOMOLOGAÇÃO E APROVAÇÃO DE PROJETO JUNTO À CONCESSIONÁRIA	41
3.4	CONSTRUÇÃO DA USINA: PERFURAÇÕES, CONCRETAGEM DOS PILARES E MONTAGEM DAS MESAS	43
3.4.1	Demarcar os locais de perfuração	43
3.4.2	Perfurar o solo com broca apropriada de acordo nos pontos demarcados	44
3.4.3	Posicionar, nivelar e alinhar as estruturas a ser concretadas	45
3.4.4	Fazer o enchimento de concreto nos buracos ao chão com as estruturas posicionadas e aguardar o processo de cura	45
3.4.5	Posicionar e montar as estruturas: Tesouras, terças e mãos francesas	46
3.4.6	Aterrar as estruturas na malha de aterramento projetada	46
3.5	PASSAGEM DOS ELETRODUTOS E LANÇAMENTO DOS CABOS CC E CA	47
3.6	MONTAGEM E CONEXÃO DOS PAINÉIS, MONTAGEM DAS <i>STRINGS</i>	48
3.7	FIXAÇÃO DOS INVERSORES E MONTAGENS QGBT	49

3.8	CONEXÃO CABEAMENTO CC E CA NOS INVERSORES, CONEXÃO À REDE DO CLIENTE	50
3.9	TESTES DE TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO DAS <i>STRINGS</i>	51
3.10	ENERGIZAÇÃO E COMISSIONAMENTO DA USINA	52
3.11	VISTORIA PELA DISTRIBUIDORA E INÍCIO DE FUNCIONAMENTO	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1	GERAÇÃO DE ENERGIA OBTIDA APÓS 2 ANOS DE OPERAÇÃO	54
4.2	MANUTENÇÕES PREVENTIVAS E CUIDADOS A SEREM OBSERVADOS	57
5	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	60
	APÊNDICE A – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES NO SOFTWARE PVSYST	62
	APÊNDICE B – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES ALTERNATIVAS NO SOFTWARE DESIGNER	69
	ANEXO A – DIAGRAMAÇÃO DAS STRINGS DOS INVERSORES	76
	ANEXO B – FOLHA DE DADOS DO MÓDULO MONOCRISTALINO RISEN UTILIZADO NO PROJETO	78
	ANEXO C – FOLHA DE DADOS INVERSOR WEG 30KW - SIW500H ST030 M1	81
	ANEXO D – FOLHA DE DADOS INVERSOR WEG 75KW - SIW400 ST075	84
	ANEXO E – FOLHA DE DADOS INVERSOR SUNGROW 60KW - SG60KTL	86

1 INTRODUÇÃO

Além de ser o maior país e economia da América Latina, o Brasil é também o seu maior consumidor de energia. A matriz elétrica brasileira é uma das mais limpas do mundo, composta principalmente por fontes renováveis, sendo a hidráulica, correspondente a 60%, sua principal fonte. A matriz elétrica brasileira é composta ainda por fontes fósseis, biomassa, biogás, eólica e, mais recentemente, solar fotovoltaica (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

Dada a natureza majoritariamente hídrica da matriz elétrica brasileira, há uma forte dependência dos períodos chuvosos para abastecimento das bacias hidrográficas produtoras de eletricidade. Quando da redução destes períodos chuvosos ou durante longos períodos de estiagem, ocorre uma grande redução nos níveis dos reservatórios das usinas hídricas brasileiras, reduzindo ou até limitando o potencial de produção de energia, imprimindo assim um risco energético para o País (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

Para impedir o desabastecimento elétrico, foram tomadas uma série de medidas tanto emergenciais quanto de longo prazo pelo Estado. Em épocas de escassez hídrica, aumenta-se a quantidade de energia elétrica produzida através das usinas termelétricas, abastecidas principalmente por gás natural e óleo diesel. Conferindo maior segurança e garantindo o abastecimento elétrico do País. Todavia, este tipo de geração possui uma série de pontos negativos, dentre os quais:

- Alto custo de operação devido principalmente ao custo dos combustíveis fósseis utilizados para queima;
- Baixa eficiência energética devido ao processo de conversão da energia química dos combustíveis em térmica, de térmica para mecânica, e de mecânica para elétrica (grupos geradores);
- Produção de gases do efeito estufa e poluição do ar;
- Fonte de combustível não renovável e poluente.

Pelo fato das usinas termelétricas fazerem uso de combustíveis fósseis, a poluição do ar causada por estas usinas representam uma dificuldade principalmente próximo a centros urbanos, que já sofrem com a poluição do ar devido em parte a complexos industriais e frotas de veículos automotores. Estas usinas contribuem ainda para o aumento do nível de emissão dos gases causadores do efeito estufa,

influenciando e acentuando ainda mais as crises hídricas, tornando-as mais recorrentes e agressivas.

A baixa eficiência de conversão energética das usinas termelétricas também é outro fator negativo, cujas perdas ocorrem nas partes mecânicas dos geradores e dos motores, bem como na queima do agente combustível. O custo de manutenção deste tipo de fonte é mais elevado se comparado com as fontes renováveis como solar, eólica e hídrica. Este e outros custos vêm sendo repassado aos consumidores em forma de bandeiras tarifárias, sistema de repasse criado durante a gestão da Presidente Dilma Rousseff em 2015, afim de repassar, dentre outros, os custos de operação das usinas térmicas massivamente acionadas por conta da crise hídrica de 2015-2016. (SOARES; COSTA, 2023) aborda o tema acima discutido fazendo uma retrospectiva histórica de seguidas crises hídricas desde 2001, abordando as medidas adotadas pelos governos perante tais crises.

Segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) "Bandeiras tarifárias é o Sistema que sinaliza aos consumidores os custos reais da geração de energia elétrica. Para tanto, as cores (verde, amarela ou vermelha) indicam se a energia custará mais ou menos em função das condições de geração de eletricidade."(AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2023)

De acordo com a ANEEL as bandeiras tarifárias consistem em:

- Bandeira verde: aplicada em condições mais favoráveis de geração elétrica, as tarifas não sofrem acréscimos.
- Bandeira amarela: aplicada em condições menos favoráveis de geração. As tarifas sofrem acréscimos de R\$ 0,01874/kWh.
- Bandeira vermelha patamar 1: condições mais custosas de geração, as tarifas são acrescidas de R\$ 0,03971/kWh.
- Bandeira vermelha patamar 2: condições ainda mais custosas de geração, com acréscimo de R\$ 0,09492/kWh nas tarifas.

Diante disso, observa-se que os efeitos das crises hídricas no Brasil, afetam diretamente o custo da energia elétrica no País. Este custo é sentido pelos cidadãos em suas residências, pelas empresas de pequeno, médio e grande porte, pelo poder público e pelo agronegócio.

Além de aumentar o custo da energia, os períodos de estiagem elevam também o custo dos alimentos. Na crise de escassez hídrica sofrida em 2021, especialmente

no segundo semestre, registrou-se quebra de safra em diversas regiões produtoras de grãos e diversos tipos de alimentos do País (CHIAPPINI, 2022).

Com o menor nível de precipitação, a produção de alimentos no campo (agricultura e pecuária) diminuiu, elevando custo de produção e reduzindo a produtividade, causando uma elevação no preço dos alimentos.

Neste cenário, o Brasil é acometido por escassez e alta nos preços dos alimentos, alta no custo de energia e conseqüentemente alta na inflação, o que pode causar danos ainda maiores na economia do País, levando a desemprego e potencial recessão.

No ano de 2021 o Brasil experimentou este cenário mais uma vez, porém num contexto muito pior que em 2015. Ainda na pandemia do coronavírus, ao longo de 2021, os níveis dos reservatórios atingiram níveis alarmantes. Neste período se observava alta na inflação no mundo todo, inclusive em países que historicamente sofreram pouco com este problema, como os Estados Unidos. Além da pandemia, a estiagem ocasionou grandes danos na agricultura e pecuária do País, que já sofria com falta de insumos agrícolas como fertilizantes e defensivos agrícolas. Os combustíveis fósseis experimentaram uma grande alta nos preços de 2020 a 2022. O Gráfico 1 mostra a evolução do preço médio do óleo diesel S-10 entre 01/06/2022 e 30/04/2022. No período analisado, o preço médio no Brasil para revenda saltou de R\$ 3,134 para R\$ 6,741, ou seja, um aumento de 115,09%. Neste contexto, o País foi obrigado a importar uma maior quantidade de energia elétrica da Argentina e do Paraguai (com preço em dólar), e acionar um grande número de termelétricas, fazendo o custo da energia subir drasticamente.

Gráfico 1 – Evolução dos preços médios de distribuição e revenda - óleo diesel S-10. Periodicidade semanal. De 01/06/2020 a 30/04/2022.



Fonte: (ANP).

Diante disto, criou-se uma bandeira tarifária emergencial, nomeada de "Bandeira Escassez Hídrica". No estado do Paraná o efeito sentido pelos consumidores chegou a ultrapassar um aumento de R\$0,21/kWh, o que representa em alguns casos, uma variação superior a 40% no custo da energia, como é o caso das indústrias na concessionária Copel-Dis. A tarifa de consumo fora de ponta para clientes no grupo A, custava em média R\$0,49/kWh. Com a nova bandeira tarifária, a mesma tarifa chegou a ultrapassar R\$0,70/kWh em muitos casos.

Todos estes fenômenos somados resultaram em um grande aumento na inflação e insegurança energética ao longo dos anos de 2021 e 2022.

Uma alternativa rentável e que vem se mostrando eficaz é a construção de usinas fotovoltaicas para participação na matriz elétrica brasileira tanto na modalidade livre como na Geração Distribuída. Além de abundante no Brasil, a energia solar é limpa, renovável, gratuita, infinita e rentável. As usinas fotovoltaicas são razoavelmente pouco complexas para projeto, construção e manutenção, possui preços atrativos para investidores e exige pouca manutenção.

Com a energia solar fotovoltaica é possível em um curto período de tempo aumentar a oferta de energia na matriz. Com mais oferta, a tendência é estabilização e até queda de preços da energia. Além disso, em cenários de crise hídrica a matriz se beneficia da radiação abundante, podendo tornar os efeitos tarifários das bandeiras mais brandos. Conforme mostra Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021), a fonte fotovoltaica foi a que mais cresceu proporcionalmente no período analisado.

Neste contexto, este trabalho busca explorar uma de uma gama de medidas que ajudam a mitigar este e outros problemas referentes à matriz elétrica brasileira, a energia solar fotovoltaica no âmbito da Geração Distribuída (GD). A GD permite aos consumidores passar a produzir energia para consumo próprio e participar do Sistema de Compensação de Energia.

Apesar da relevância e potencial da geração de energia fotovoltaica no Brasil e o grande aumento na capacidade instalada, falta ainda literaturas referentes ao assunto em um contexto de projeto, homologação, construção e validação como um todo.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo descrever o dimensionamento, homologação, construção e validação de uma usina fotovoltaica de minigeração de 244,75kWp com estrutura de solo na cidade de Carambei-PR, atendido pela distribuidora Copel-DIS na região dos Campos Gerais.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar o consumo da unidade;
- Fazer pré-dimensionamento do sistema;
- Fazer estudo de viabilidade técnico-financeira;
- Coletar dados *in-loco* do terreno;
- Coletar dados dos circuitos elétricos existentes;
- Dimensionar as proteções CA (corrente alternada), CC (corrente contínua) e as Strings;
- Coletar documentação para homologação;
- Homologar projeto na concessão;
- Fazer perfuração e construir bases da estrutura de solo;
- Fazer a montagem das estruturas metálicas de solo;
- Realizar lançamento de cabos CC e CA;
- Realizar montagem dos painéis nas estruturas de solo;
- Realizar fixação e montagem dos inversores;
- Conectar as strings nos inversores;
- Fazer conexão CA da UFV (Usina Fotovoltaica) na rede da propriedade;
- Realizar primeira energização;
- Comissionar usina;
- Finalizar pendências;
- Solicitar vistoria da distribuidora;
- Iniciar operação e monitoramento da usina;
- Acompanhar e validar o desempenho da usina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo será revisado alguns conceitos básicos sobre geração por fonte solar, geração distribuída e os principais componentes de um sistema gerador fotovoltaico conectado à rede.

2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

A geração de energia ocorre basicamente de duas formas: Geração Centralizada (GC) e Geração Distribuída (GD).

A GC é composta por grandes usinas localizadas geralmente distantes dos grandes centros de consumo (centros urbanos e industriais). Alguns exemplos de GC podem ser citados, como a usina de Itaipu, usinas termelétricas na ordem de dezenas ou centenas de MW, complexos eólicos *on* e *offshore* (em terra e no mar), usinas fotovoltaicas na ordem de dezenas, centenas e milhares de MW (MEDEIROS FILHO, 2021).

A GC possui vários pontos positivos, dentre os quais pode-se destacar:

- Redução de custo de implantação através do ganho de escala;
- Redução do custo de operação e manutenção pelo mesmo motivo acima.

Dentre os pontos negativos estão:

- Elevados níveis de perdas na transmissão, de modo que até 15% de toda energia produzida no Brasil é perdida por este motivo;
- Maior dificuldade em manutenção e operação, por conta da distância dos centros urbanos de consumo;
- Grandes impactos ambientais mesmo nas centrais produtoras de energias renováveis, como alagamento de vastas áreas e alteração de biomas (usinas hídricas), morte de pássaros no caso de eólicas, grandes níveis de poluição do ar pelas térmicas, grande área ocupada por usinas fotovoltaicas
- Dificuldade em implantação de grandes usinas, especialmente hídricas, seja por fatores ecológicos, econômicos ou até mesmo falta de locais adequados e linhas de transmissão.

A GD é a geração junto à carga, como o próprio nome sugere. Dentre as vantagens da GD, pode-se citar:

- Redução das perdas por transmissão no SIN (Sistema Integrado Nacional), visto que a geração é junto a carga e não precisa de centenas ou milhares de quilômetros de infraestrutura para transmissão de energia para os grandes centros;
- Possibilidade de ocupar espaços normalmente sem utilização, especialmente telhados de residências ou empresas, no caso da fonte fotovoltaica;
- Aumenta a eficiência global do SIN, uma vez que além de redução das perdas, em muitos casos a GD pode ser implementada em regiões com fornecimento de energia pobre;
- Não depende de grandes investimentos de grandes grupos empresariais ou estatais, visto que qualquer pessoa física ou jurídica pode entrar no sistema, desde que atenda requisitos técnicos de cada solução e faça uso de fontes renováveis;
- Aumenta a oferta de energia de forma independente, reduzindo custos de geração no longo prazo e aumentando a oferta onde ocorre o consumo;
- Aumenta a confiabilidade do sistema elétrico, uma vez que as usinas GD se caracterizam por ser de pequena potência, porém numerosas, ao contrário da GC.

Na modalidade GD é permitido fazer uso apenas de fontes consideradas limpas nos empreendimentos de geração. A fonte que vem mais se destacando no Brasil é a solar fotovoltaica (MEDEIROS FILHO, 2021).

As usinas fotovoltaicas (UFV) ganharam impulso especialmente por conta das sucessivas reduções de custos dos insumos devido principalmente ao aumento da concorrência e volume de produção. Isso se reflete diretamente no retorno do investimento na ponta, isto é, para quem pretende aderir ao sistema de compensação de energia através da fonte fotovoltaica.

Até o ano de 2022, para ser considerado GD o empreendimento de geração não poderia ultrapassar a potência instalada de 5MW. Neste trabalho, será considerado esta regra.

2.2 USINAS DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

As usinas GD fotovoltaicas são divididas em dois grupos de acordo com suas classes de potência, sendo eles:

- Microgeração: usinas com potência instalada de até 75kW;
- Minigeração: usinas com potência instalada maior que 75kW e de até 5MW;

As usinas de microgeração formam a maior parte dos sistemas instalados, compreendendo as classes residenciais, propriedades rurais de pequeno e médio porte, comércios e pequenas indústrias.

Em geral as usinas de microgeração são empregadas em unidades consumidoras com classe de consumo caracterizadas como grupo B, ou seja, são atendidas em baixa tensão. Com isso, na grande maioria dos casos as tarifas aplicadas também são referentes ao grupo B, podendo ser de classe comercial, residencial ou rural, sem diferenciação horária, isto é, tarifa monômnia.

Tais usinas são também de implantação razoavelmente descomplicada, tanto a nível de projeto quanto a nível de homologação, visto que são empreendimentos mais simples.

Um fator primordial no dimensionamento de usinas fotovoltaicas GD é a potência disponível para conexão. A maioria das unidades consumidoras Grupo B possuem padrão de entrada com potência de no máximo 75kW. Em termos de projeto, uma regra essencial é que a potência de injeção do sistema não ultrapasse o limite da potência da entrada de energia. A potência de injeção é a menor entre o somatório de potência dos inversores e o somatório da potência dos painéis.

Por exemplo, um consumidor Grupo B atendido pela Copel-Dis em 220V e que possui um padrão de entrada trifásico de 200A, pode implementar qualquer empreendimento de microgeração, visto que sua entrada de energia comporta uma usina de até 75kW. Outro consumidor com as mesmas características, porém com um padrão de entrada trifásico de 80A, pode implementar uma usina fotovoltaica de até 30kW sem aumento de carga.

Caso o consumidor necessite de uma usina com potência de injeção maior que sua entrada de energia comporta, é preciso realizar o procedimento de aumento de carga, que pode ou não ser viável, a depender de análise individual pela concessionária de energia correspondente.

Os projetos de minigeração, por sua vez, possuem complexidade bem maior. Além de maior injeção na rede da concessionária, é preciso também se atentar a outros fatores, como por exemplo:

- Potência da entrada de energia: um dos requisitos básicos para viabilidade técnica;
- Demanda contratada: precisa ser no mínimo igual à potência de injeção da usina;
- Enquadramento como Grupo A: as usinas de minigeração devem ser atendidas em média tensão e por Resolução Normativa da ANEEL, necessita obrigatoriamente contratar demanda equivalente, no mínimo, à potência de injeção;
- Aumento de carga: nos casos de consumidores atendidos em média tensão, este procedimento é muito mais complexo e caro do que consumidores baixa tensão;
- Necessidade de relé de proteção: a depender da potência de injeção, pode se fazer necessário este tipo de proteção na média tensão da unidade consumidora, o que pode inviabilizar financeiramente alguns projetos caso não seja previsto;
- Necessidade de religadores: acima de 500kW de injeção, na Copel-DIS e na maioria das distribuidoras é necessário a instalação de relé religador na média tensão do cliente. Este equipamento também pode inviabilizar projetos caso não sejam previstos antecipadamente.
- Necessidade de reforço de rede: um dos procedimentos para homologação é submissão de consulta de acesso, em parecer da distribuidora pode ser necessário reforço de redes de média ou alta tensão, sendo o custo, total ou em parte, de responsabilidade do acessante (proprietário do do empreendimento GD);

Além dos fatores citados acima, há ainda outros aspectos que, não sendo levados em conta, pode inviabilizar técnica e financeiramente ou até não atingir a performance desejada do empreendimento.

2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A seguir será revisado brevemente os principais componentes do sistema gerador fotovoltaico.

2.3.1 Painel Fotovoltaico

O painel fotovoltaico é um dos principais componentes de uma usina fotovoltaica. Ele é responsável por gerar energia por meio do efeito fotovoltaico quando exposto à radiação da luz solar. A Fotografia 1 apresenta um conjunto de painéis FV instalados em telhado.

Fotografia 1 – Exemplo de Painéis Fotovoltaicos Monocristalinos Instalados em Telhado



Fonte: Autoria Própria (2023).

Os painéis, ou módulos fotovoltaicos são compostos por células solares (em grande parte de silício mono ou policristalino), cabos elétricos, proteção frontal em vidro temperado, molduras laterais em alumínio anodizado resistente a corrosão, caixas de junção, terminais de conexão, além de outros materiais como prata, cobre, estanho, dentre outros.

Os painéis podem ser associados em série, formando *strings* para elevar a tensão de operação, que por sua vez podem ser conectadas em paralelo, o que eleva a corrente do conjunto, de acordo com a necessidade de projeto, ou seja, características dos inversores escolhidos, espaço disponível, orientações dos painéis, dentre outros.

Mais detalhes sobre o funcionamento, fabricação, tipos, composições dos painéis solares, diferença entre tecnologias, dentre outras informações relevantes, podem ser encontrados em (VILLALVA, 2012).

O modelo de painel escolhido para esta usina foi o módulo monocristalino RSM156-6-445M de 445Wp *half cell*, da fabricante Risen Energy. O Quadro 1 apresenta os principais dados elétricos do painel escolhido nas condições de teste padronizadas (STC) relevantes para dimensionamento da usina. OS dados completos da folha de dados pode ser consultada no Anexo B

Quadro 1 – Dados Elétricos STC do Painel FV Risen 445Wp

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/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

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

Fonte: (RISEN... , 2020).

2.3.2 Inversor

O inversor é um componente eletrônico responsável por fazer a conversão da energia CC proveniente dos painéis em CA para injeção na rede, no caso dos sistemas *on-grid*. Os equipamentos modernos são equipados com algoritmo de rastreamento do ponto de máxima potência dos grupos de painéis a ele conectado, as chamadas MPPTs (*Maximum Power Point Tracker*).

Um inversor pode vir ainda na configuração de múltiplas MPPTs, com cada uma contendo múltiplas entradas. O ponto de máxima de potência de um conjunto ou arranjo de placas depende do nível de irradiação deste arranjo. O nível de irradiação que atinge os módulos sofre variações de acordo com o horário do dia, estação do ano, presença de nuvens, presença de sombreamento parcial.

Quanto maior o número de MPPTs disponíveis em um inversor, maior se torna

a versatilidade de posicionamento físico dos arranjos. Além disso, em casos onde se obtém sombreamentos parciais é possível mitigar o efeito através da divisão da usina em arranjos conectados em diferentes entradas MPPTs dos inversores.

De modo geral, a quantidade mínima de MPPT requerida depende do número de orientações dos arranjos. Por exemplo, uma usina fotovoltaica construída 100% em solo e voltada para a mesma direção pode fazer uso de um único inversor com apenas uma MPPT com uma ou múltiplas entradas.

Todavia, em muitos casos é desejável e/ou necessário se fazer uso de mais que um inversor. Também é desejável se fazer uso de inversores com múltiplas entradas MPPT.

No mercado já se encontra inversores de 75kW com 1, 2, 4, podendo chegar até 10 ou mais entradas MPPTs. Tal configuração se torna positiva por permitir, como referido, separar os arranjos em MPPTs diferentes, de modo que a falha ou sombreamento parcial em um arranjo não prejudique os demais.

Há situações em que num determinado momento do dia é inevitável obter sombreamentos parciais em partes da usina. Nestes casos, caso se faça uso de apenas uma MPPT todo o conjunto sofrerá influência destas partes, reduzindo a produção de energia naquele horário. Com múltiplas MPPTs, desde que previsto de antemão através de análises de sombreamento via *software*, pode-se dividir os conjuntos em arranjos menores, de modo a serem ligados em diferentes MPPTs. Assim se, por exemplo, 1/10 da usina sofrer sombreamento num dado momento e este arranjo estiver em uma MPPT dedicada, não afetará o desempenho dos outros 9/10 da usina, tornando o efeito do sombreamento parcial praticamente desprezível.

Há ainda possibilidade de se fazer uso de múltiplos inversores com múltiplas MPPTs, para que além de dividir o risco de sombreamento parcial, aumentar a redundância do sistema em caso de falhas de um dos inversores.

Neste trabalho foi implementado um total de 3 inversores da fabricante WEG Solar, sendo dois de 75kW (modelo SIW400 ST075) e um de 30kW (modelo SIW500H ST030 M1). As principais informações destes equipamentos podem ser vistas nos Anexos C e D.

2.3.3 *Derating* por Temperatura dos Inversores

O *derating* por temperatura consiste num mecanismo de proteção dos inversores fotovoltaicos que reduzem a potência de saída após o atingimento de um determinado nível de temperatura. Isso ocorre para que se reduza a temperatura do inversor de modo a evitar danos ou até mesmo a queima dos equipamentos (PINHEIRO, 2021).

O correto arrefecimento e não obstrução dos trocadores de calor dos inversores é essencial para um bom desempenho da usina fotovoltaica. A temperatura de operação do inversor possui correlação direta com a máxima potência de saída que os inversores podem entregar. Para dimensionamento dos projetos é importante que se levante tais dados junto ao fabricante.

Há casos em que, mesmo seguindo as instruções do fabricante e acomodando os inversores a distâncias seguras que permitam a troca de calor, pode haver *derating* por temperatura. Nestes casos, a tensão CC das *strings* ligadas ao inversor podem influenciar, sendo que em geral, é preferível que não se trabalhe com níveis de tensão muito próximos do valor limite aceito pelo fabricante, sob pena de aumentar os efeitos do *derating*. Para elucidar, o Quadro 2 apresenta o exemplo de um inversor de 40KW de um dos diversos fabricantes do mercado.

Quadro 2 – Exemplo *derating* em inversor de 40KW para diferentes níveis de tensão CC e temperatura.

Tensão MPPT	25C	35C	40C	45C	50C	55C	60C
540V	44KVA	42KVA	40KVA	37KVA	34KVA	31KVA	28KVA
600V	44KVA	44KVA	44KVA	40,5KVA	37KVA	33,5KVA	30KVA
800V	42KVA	37,7KVA	35,3KVA	33KVA	30,7KVA	28,3KVA	26KVA

Fonte: autoria própria (2023).

2.3.4 Cabo Solar

A escolha dos condutores de um sistema fotovoltaico pode ser dividido basicamente em dois grupos: condutores dos circuitos CC e condutores dos circuitos CA.

Os condutores dos circuitos CC são chamados também de cabos solares. São tipicamente projetados para suportar tensões CC de até 1.500V em circuitos

fotovoltaicos, podendo ficar ao tempo, possuindo proteção contra raios UV e dupla isolamento.

Para os circuitos CA são dimensionados condutores convencionais de cobre ou alumínio, podendo ser de uso externo ou interno, com isolamento tipicamente de PVC ou HEPR.

2.3.5 Estruturas de Fixação

As estruturas de fixação de um sistema fotovoltaico tem a função de manter os painéis fotovoltaicos fixados mecanicamente de forma segura na aplicação a que se destina. Para cada tipo de instalação há uma estrutura de fixação adequada.

Os tipos mais comuns de usinas são:

- Usinas de telhado;
- Usinas de Solo
- Usinas de estacionamento para veículos, também chamado de Carport solar;
- Estruturas customizadas para aplicações específicas em áreas como agricultura e projetos arquitetônicos;
- Fachadas de prédios.
- E mais recentemente, a aplicação que recebeu o nome de *agrivoltaics*, que conciliam geração fotovoltaica simultaneamente com aplicações no agronegócio (plantio e pecuária).

As usinas de telhado requerem, antes de mais nada, uma avaliação cuidadosa da estrutura existente do prédio. É recomendável que um engenheiro especializado realize uma avaliação/laudo estrutural para averiguar se a estrutura suporta a carga adicional devido a implantação dos painéis solares, visto que a maioria dos telhados construídos não previam esta carga extra. A avaliação estrutural realizada por profissional habilitado informará se a estrutura existente é apropriada para acomodação dos painéis, se há necessidade de reforço estrutural ou se o telhado é completamente inapropriado para aplicação. Este passo importante pode mostrar a inviabilidade técnica do empreendimento, porém traz segurança a todas as partes envolvidas, especialmente às pessoas e bens acomodados sob a cobertura de interesse. O custo de uma avaliação estrutural possui valores que não chegam a 0,5% do valor investido em uma usina fotovoltaica.

Para cada tipo de telhado há uma estrutura de fixação específica. Em geral, não se recomenda fixar os trilhos diretamente nas telhas, e sim nas vigas e terças dos telhados, exceto para o telhado metálico trapezoidal, que possui estrutura de fixação do tipo mini-trilho que pode ser instalado desta forma. O Quadro 3 apresenta um resumo com as principais estruturas de fixação de acordo com o tipo de telhado existente.

Quadro 3 – Tipos de telhados e estruturas de fixação apropriados.

Tipo de Telha	Estrutura do Telhado	Estrutura Fixação Recomendada	Onde fixar
Colonial	Terças de madeira	Gancho metálico	Terça ou viga/vigota
	Terças de metal	Gancho metálico	Terça
Fibrocimento	Terça de madeira ou metal	Prisioneiro tipo parafuso estrutural	Terça
	Terça de concreto pré-moldado	Prisioneiro abraçador usinado	Terça
Telha metálica trapezoidal	Terça de madeira ou metálica	Prisioneiro tipo parafuso estrutural	Terça
	Terça de madeira, metálica ou concreto pré-moldado	Mini-trilho ou trilho metálico longo	Diretamente na telha

Fonte: autoria própria (2023).

Para usinas de solo há basicamente dois tipos de estruturas: fixas e *tracker*. As estruturas fixas são largamente empregadas em usinas fotovoltaicas de micro e minigeração, enquanto as estruturas *tracker* são voltadas especialmente para usinas de médio e grande porte, podendo variar de 1MW a centenas de MW.

Este trabalho focará nas estruturas fixas para usinas de solo.

2.3.6 Proteções CC

Os conjuntos de painéis fotovoltaicos operam em corrente contínua, com tensões que podem passar de 1.000V em algumas aplicações. As proteções CC constituem elemento fundamental de segurança e manobra das *strings* (conjuntos) de painéis.

As proteções CC podem ser implementadas através de caixas de *Strings* (*String box*) ou podem vir incorporadas aos inversores. Segundo a ABNT NBR 16690 não há necessidade de uso de fusíveis de proteção se conectado até duas *strings* em uma mesma entrada, acima deste limiar, é obrigatório uso de fusíveis seja nas caixas de *strings*, seja internamente nos inversores.

Outros elementos importantes que compõe as proteções CC são o DPS (dispo-

sitivos de proteção de surto) e as chaves seccionadoras CC. O DPS protege o inversor contra eventuais surtos de tensão decorridos no circuito CC ao qual está conectado. As chaves seccionadoras CC desconectam os conjuntos de *strings* do inversor.

Os inversores da linha SIW400 e SIW500H da fabricante WEG selecionados para este empreendimento já possuem as proteções internamente, todavia, para maior proteção foi implementado ainda conjuntos de caixas de *strings* CC com DPS e chaves seccionadoras externas.

2.3.7 Proteções CA

As proteções do circuito CA dos inversores correspondem às proteções convencionais para cargas CA trifásicas.

Os principais componentes são os disjuntores e DPS CA. O dimensionamento dos disjuntores e do cabeamento CA deve ser feito observando a NBR 5410, isto é, observando limites de queda de tensão, corrente de curto circuito, dentre outros fatores.

2.4 FATORES CONSTRUTIVOS DAS USINAS COM ESTRUTURAS DE SOLO FIXA

2.4.1 Tipos de Estrutura Solo

As usinas fotovoltaicas construídas em solo normalmente são cravadas ou concretadas.

No primeiro caso, o cravamento se dá através de maquinário específico (Fotografia 2), não sendo necessário realizar perfurações prévias, pois a própria base metálica ao ser cravada no solo perfurará o mesmo. Assim, as estruturas permanecem fixas devido a forças de atrito com o solo.

No caso em que as estruturas são concretadas (Fotografia 3), é necessário realizar uma perfuração prévia com brocas específicas, em que o diâmetro do furo pode variar de 200 a 600mm dependendo da recomendação dos fabricantes da estrutura. Após a perfuração, é feito o posicionamento das bases metálicas da estrutura, bem como alinhamento e nivelamento. Posteriormente é adicionado concreto para formar a base da estrutura. Após passado o tempo de cura do concreto, é possível se iniciar a montagem dos demais componentes da estrutura de solo e em seguida iniciar a fixação

Fotografia 2 – Cravação direta de estacas para usinas solo fixa com cravadeira Gayk – HRE 300.



Fonte: (ENERSOLAR, 2023).

dos painéis e passagem do cabeamento.

As estruturas cravadas em solo são mais rápidas de se montar, porém exige maquinário específico, operadores habilitados e escala adequada para tanto. Além disso, requer uma série de testes do tipo "*pull-out*", em que uma estaca de amostra é cravada no chão, e um maquinário apropriado realiza tração na estaca até que ocorra o arrancamento da mesma. Portanto, não se recomenda em usinas contíguas cuja somatória de potência seja menor que 1MW por falta de escala.

Usinas de porte menor em solo, recomenda-se uso de estruturas concretadas pois há um ganho considerável em relação à simplicidade da implementação e não necessidade de equipamentos e operadores especializados, sendo um trabalho muito mais parecido com obras civis convencionais, em que consiste no emprego de perfuratrizes, betoneiras, pedreiros, ajudantes, etc.

As estruturas do tipo *tracker* são opções que possuem como características mover o conjunto de painéis solares de modo a mantê-los durante o maior intervalo de tempo possível perpendiculares à radiação solar para obter maior ganho de geração. Apesar do ganho adicional, há maior complexidade no projeto em relação à questões mecânicas, civis e topológicas do terreno.

Por conseguinte, estruturas de solo fixa possuem a vantagem de menor custo de implantação, menor custo de operação e manutenção (O&M), maior simplicidade e menor complexidade de projeto e construção. Podem possuir bases concretadas no

Fotografia 3 – Foto *in site* das estruturas posicionadas e depois concretadas.



Fonte: Aatoria própria (2023).

solo ou cravadas diretamente através de maquinário apropriado. Não faz o rastreamento da posição do sol, porém em muitos casos o menor custo e maior simplicidade acabam por compensar o maior custo e maior complexidade dos sistemas tipo *tracker*.

A finalidade principal das estruturas de solo é manter o conjunto de painéis fixos durante toda a vida útil da usina. Para isto, o profissional projetista deve observar os manuais e folhas de dados fornecidos pelo fabricante, observando se a estrutura é compatível com a região escolhida. É necessário observar o potencial de corrosão que o ambiente pode incorrer nas estruturas, visando escolher o tipo que melhor se adequa às necessidades. É importante também verificar se a estrutura escolhida é compatível com o potencial de ventos da região, visando garantir que a estrutura suporte a carga de vento do local que será submetida ao longo de toda vida útil do projeto.

As estruturas de solo utilizadas neste trabalho foram fabricadas pela empresa Politec compatíveis com o ambiente a ser implementado bem como com as cargas de

vento da região de Carambeí-PR. O modelo é do tipo monoposte em aço com dupla camada de galvanização à fogo e base a ser concretada. A Fotografia 4 mostra a estrutura de fixação escolhida após a descarga e acomodação da mesma.

Fotografia 4 – Partes da estrutura de fixação escolhida.



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 1 apresenta a nomenclatura das partes que compõem a estrutura de solo escolhida.

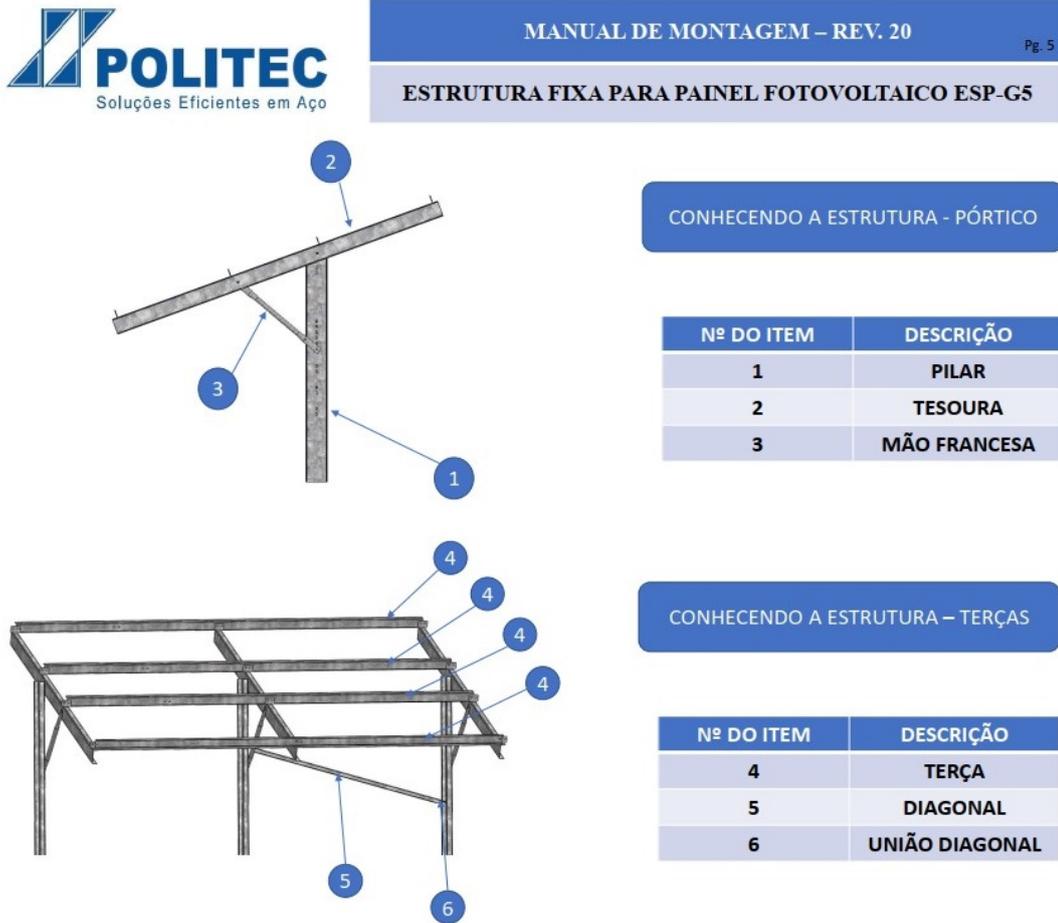
2.4.2 Aspectos do Terreno

O terreno para implantação da usina deve estar limpo, isto é, livre de vegetação como arbustos e árvores e razoavelmente nivelado. Não há necessidade de se fazer movimentação de terra em todas as usinas, ao contrário, em muitos casos é desejável que se faça uso das características do próprio terreno para implantação da usina, de modo que as estruturas acompanhem a inclinação do mesmo.

Os manuais das estruturas de fixação estipulam o nível máximo de inclinação lateral tolerado. O projetista deve se assegurar que, em caso de usinas que acompanham a inclinação do terreno, todos os pontos respeitem os limites especificados pelo fabricante para preservação da vida útil do sistema e não ocorrer perda de garantia ou prejuízos por erro de projeto.

Quanto à vegetação, se faz necessário o controle da mesma. Ao longo da vida útil da usina ocorrerá naturalmente o crescimento de arbusto, capim, dentre outros.

Figura 1 – Partes da estrutura de fixação escolhida.



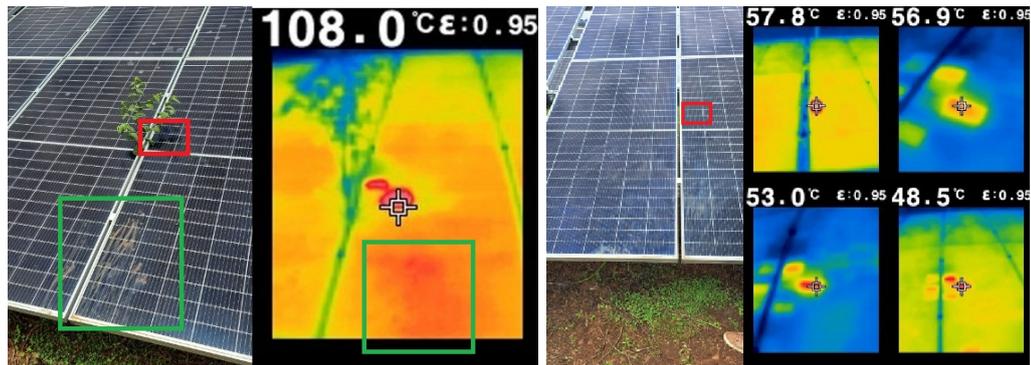
Fonte: (POLITEC..., 2014).

O controle de vegetação evita sombreamentos nos painéis, o que poderia causar surgimento de pontos quentes (*hotspots*), que levam à potenciais danos nos módulos FV, e perda de eficiência.

As Figuras 2 mostram numa mesma usina fotovoltaica a influência de sujeira e vegetação causando sombreamento parcial. À esquerda há presença de um pequeno galho que cresceu entre os painéis (retângulo vermelho) e presença de sujeira (retângulo verde) bem como o mapa de calor obtido por câmera termográfica. No ponto sombreado pelo galho é possível observar um ponto quente com temperatura de 108°C e aquecimento acima do normal nas partes sujas comparadas às partes limpas dos painéis. À direita se observa o mesmo painel alguns minutos depois de se retirar o galho e limpar levemente a sujeira do painel com a queda gradual da temperatura até o atingimento de 48°C após cerca de 10 minutos.

Portanto, é essencial fazer o controle de vegetação e sujeira nos painéis. Além disso, é importante controlar roedores e animais que acessam a usina.

Figura 2 – Detecção de ponto quente (*hotspot*) painel sombreado por vegetação.



(a) Preseça de galho e sujeira (esq.) e ponto quente (dir.)

(b) Retirada de galho (esq.) e comparativo com termografia (dir.)

Fonte: Autoria própria (2023).

Para controle da vegetação das usinas pode ser adicionado uma camada de brita no terreno, ou ainda uma camada de capim/grama que possa ser aparada por maquinário apropriado quando necessário.

A drenagem do solo também deve ser feita de forma que as chuvas não causem erosões. Em usinas de pequeno porte, isso pode ser feito de forma simplificada tomando algumas medidas. Uma delas é justamente inserção de brita, que facilita controle de vegetação, ou o aproveitamento das próprias gramíneas do terreno, o que ajuda na estabilidade do solo, absorção de água e evita surgimento de erosões com a chuva. Em casos de usinas com considerável inclinação em áreas abertas, por exemplo, de lavoura, outra solução que se mostra eficaz é adição de valetas de drenagem nos entornos da usina.

2.4.3 Acomodação e Instalação dos Inversores

A instalação física dos inversores deve ser realizada de modo a permitir correto funcionamento e ventilação dos mesmos. Um correto posicionamento dos inversores é essencial para evitar perda de eficiência por excesso de temperatura, além de prolongar a vida útil dos equipamentos. É imprescindível seguir as recomendações dos manuais dos equipamentos para correto funcionamento.

3 DESENVOLVIMENTO: DIMENSIONAMENTO, PROJETO E CONSTRUÇÃO DA UFV

A finalidade do empreendimento é atender todo o consumo energético bem como necessidades futuras de uma propriedade agrícola que possui atividades variadas: agricultura, secagem de grãos, criação de suínos e gado leiteiro na cidade de Carambeí, próxima à cidade de Ponta Grossa localizada nos Campos Gerais no estado do Paraná, região Sul do Brasil.

Para dimensionamento da usina foi levantado todas as unidades consumidoras que o proprietário gostaria de abranger no projeto. Com o levantamento das respectivas faturas de energia e cálculo das médias mensais de consumo, foi verificado junto ao proprietário perspectiva de possível de aumento futuro no consumo energético. A Tabela 1 resume a necessidade de consumo das unidades envolvidas no empreendimento.

Tabela 1 – Consumo energético médio das Unidades Consumidoras.

Descrição	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Necessidade Total (kWh)
UC1	1.630	15.750	18.521
UC2	0	6.250	6.250
UC3	0	1.000	1.000
Necessidade Futura	200	460	800
Total			26.571

Fonte: autoria própria (2023).

Com isso, a usina projetada deve ser capaz de produzir uma média mensal de aproximadamente 26.571 kWh, ou ainda, produzir um total de 318,852 MWh/ano.

3.1 MÉTODOLOGIA DE CÁLCULO E SIMULAÇÕES

Para dimensionar a usina, deseja-se determinar a potência total de pico do sistema (kWp), bem como a potência total de inversores (KWca). Essas são as duas principais medidas, das quais se seguirão os dimensionamentos de estrutura, quantidade de painéis, dimensionamento de cabos e proteções CA e CC.

A usina será construída em solo em uma área demarcada pelo proprietário. O relevo é viável, não necessitando de movimentações de terra e nem terraplanagem. Além disso, não será feito uso de brita, ao invés disso, serão mantidas as características do terreno com controle da vegetação sendo feito pelo proprietário.

Em torno do local escolhido há focos de sombreamento, tanto árvores à sudoeste quanto silos de grãos à norte e nordeste, como pode ser visto na Figura 3. Com isso, será necessário simular os impactos do sombreamento para determinar o índice de perda da usina, para avaliar a necessidade de ampliação ou não da potência de geração (kWp).

Figura 3 – Planta de situação.



Fonte: Autoria Própria.

A usina será conectada diretamente em 380Vca, sendo dispensável o uso de transformadores baixa tensão (BT) acopladores, visto que os inversores utilizados já possuem tensão de operação em 380Vca. Para implantação da usina, foi escolhido um abrigo aberto para melhor arrefecimento dos inversores, o mesmo está localizado a aproximadamente 40m do ponto de conexão da rede interna do proprietário. Para conectar a usina, será dimensionada uma rede trifásica subterrânea CA.

3.1.1 Determinando a Potência de Pico e de Inversores da Usina

Para cálculo da potência total dos painéis, foi utilizado o método da insolação diária (VILLALVA, 2012). Através da localização e com dados de insolação diária média da região, é possível determinar a potência de pico (kWp) requerida para produzir 26.671 kWh/mês pela usina.

Utilizando o método, é possível determinar o fator médio de geração kWh/(kWp.mês), ou seja, quanta energia é produzida mensalmente para cada 1 kWp de potência de

geração. Para a região de Carambeí, este fator é de aproximadamente 109kWh/kWp para usinas em solo orientadas para o norte.

Assim, o ponto de partida para dimensionamento da usina deve ser calculado como a seguir:

$$P_{pico} = \frac{Emensal_{desejado}}{F_{Ger}} = \frac{26.671}{109} = 244,66kWp \quad (1)$$

Portanto, para a produção de 26.671 kWh/mês é necessário uma usina com potência de pico de aproximadamente 244,66kWp.

Usualmente deseja-se utilizar um fator de *overload* (também encontrado como *oversizing* e *overpaneling* na literatura) para dimensionamento da potência total de inversores. Este fator de projeto introduz uma potência de inversores inferior à potência total dos painéis. A ideia é de que em determinados meses do ano a usina nunca chegará a seus valores máximos de potência. Isso ocorre pois a unidade Potência de Pico, ou ainda *Wp* utilizado para projeto e pelos fabricantes dos painéis é um valor de referência. Representa a potência máxima que um painel solar pode atingir em determinadas condições de temperatura e irradiação solar, estas são as chamadas condições de teste padrão (*Standar Test Conditions (STC)*). A potência de pico de um painel usualmente é determinada em temperatura de 25° e condições de irradiância de 1.000W/m².

A potência total dos inversores deve ser inferior à potência da entrada de energia do acessante/consumidor. O proprietário possui em sua fazenda uma entrada de energia de 225kVA trifásica em 220/380V. Portanto, a potência dos inversores deve ser inferior à 225kW.

Para esta usina, optou-se pela escolha de dois inversores de 75kW e um de 30kW da fabricante WEG, constituindo uma potência total de 180kW, satisfazendo o critério da entrada de energia.

O painel escolhido foi o modelo de RMS156-6-445M de 445Wp da fabricante Risen. É um painel do tipo monofacial com tecnologia *half cell* de 156 células, que ajuda a reduzir impactos de sombreamentos parciais com eficiência de até 20,5%.

Para atender à potência de geração requerida, foram utilizados 550 painéis, totalizando 244,75kWp de potência.

A partir destes dados, é possível determinar que o fator de *overload* é de 136%,

bastando para isso dividir a potência de total de pico dos painéis pela potência total dos inversores.

O fator de *overload* é uma métrica para saber o quão sobrecarregados estarão os inversores. Não existe uma regra estabelecida quanto ao máximo valor aceito. É recomendável pelo fabricante dos inversores não ultrapassar o valor de 140% apenas para parâmetro.

O que o projetista deve observar ao dimensionar os inversores e os painéis são os valores máximos de tensão de circuito aberto (V_{oc}), corrente de curto-circuito máxima (I_{sc}), tensão inicial e máxima que ativam as entradas MPPTs dos inversores, corrente por entrada MPPT e máxima corrente por MPPT.

Por exemplo, projetista deve dimensionar os conjuntos das *strings* de painéis de modo que a tensão de circuito aberto total não ultrapasse a tensão máxima por entrada dos inversores.

A depender de como o projetista dimensiona as *strings*, em teoria pode-se sobrecarregar os inversores em mais de 200% sem queimá-los. Todavia isto não é desejável pois pode-se reduzir a vida útil dos inversores e todos os componentes do circuito CA (cabos, proteções, etc) se projetados sem folga. Além disso, dependendo da região onde se localiza a usina, orientação e sombreamento, a partir de um certo ponto o efeito de *clipping* ou ceifamento, se pronuncia, fazendo com que muita energia seja perdida. Para evitar isto, é importante o projetista usar simuladores para corroborar se suas previsões de geração estão certas.

3.1.2 Dimensionamento das Strings

Para dimensionamento das *strings* de painéis pode-se assumir as seguintes diretrizes:

- V_{oc} total menor que Tensão Máxima da Entrada MPPT considerando a correção de temperatura local;
- I_{sc} menor que a Corrente Máxima por Entrada;
- Ao se utilizar mais de uma entrada de uma mesma MPPT do inversor, a somatória das correntes das strings devem ser menores que a máxima corrente por MPPT e as *strings* devem possuir o mesmo número e orientação de painéis;
- A tensão de operação das strings V_{mpp} deve ser maior que a tensão mínima

de ativação da MPPT do inversor;

A partir dos pressupostos mínimos acima as *strings* foram dimensionadas e conectadas nos inversores conforme mostrado no A.

Portanto, para esta usina optou-se por *strings* com grupos de 19 painéis em série, com os inversores de 75kW recebendo 228 painéis cada, divididos em 4 MPPTs, cada MPPT com 3 *strings* em paralelo. O inversor de 30kW recebeu 94 painéis, divididos em 3 MPPTs, em que duas receberam duas *strings* e uma recebeu uma *string*.

3.1.2.1 Dimensionamento dos Condutores e Proteções CA

O dimensionamento dos condutores CA bem como suas proteções se deu através dos métodos da queda de tensão e curto-circuito. Para cada inversor, foram utilizados os condutores com respectivas proteções apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo dos Condutores e Proteções CA.

Inversor	Corrente nominal inversor (A)	Proteção (A)	Condutor (mm ²)	Tipo
75KW	130	150	50	HEPR
75KW	130	150	50	HEPR
30KW	53	100	30	HEPR

Fonte: autoria própria (2023).

3.2 SIMULAÇÕES DA GERAÇÃO PROPOSTA

Após pré-dimensionamento das usinas se iniciou a etapa de simulações para determinar, dentre outras coisas:

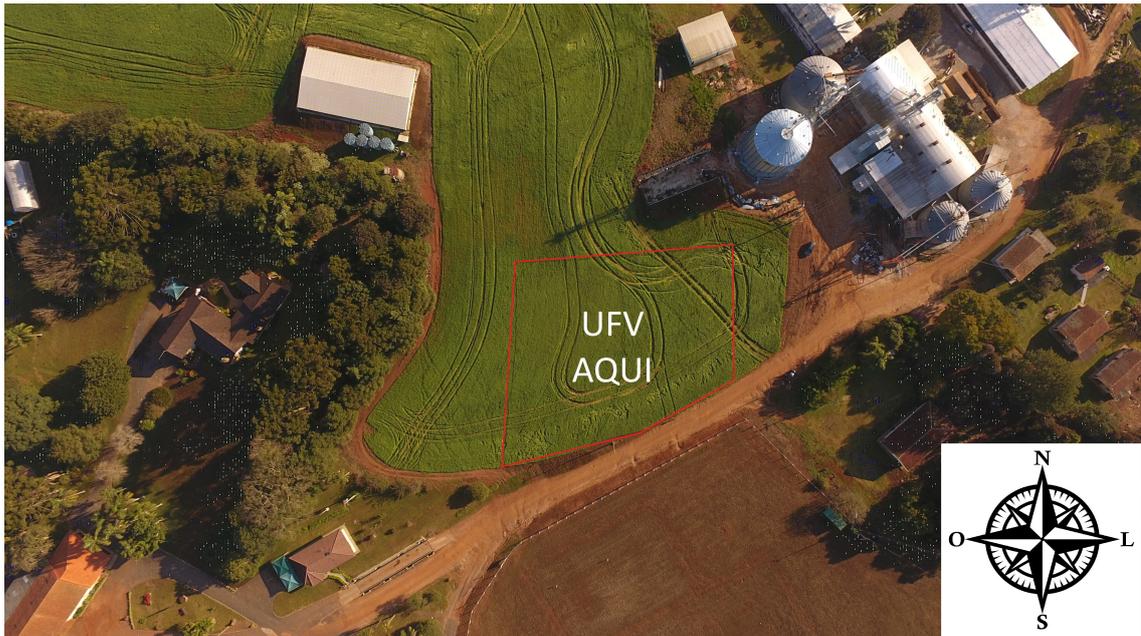
- Impacto de sombreamentos provenientes de árvores e silos de armazenamento próximos;
- Validar a capacidade da usina dimensionada em entregar a geração requerida;
- Dimensionar as mesas e linhas de painéis;
- Otimizar o espaço físico e determinar a distância entre fileiras de painéis;

As simulações foram realizadas através dos softwares *Solaredge-Designer* e *PVSystem*. Os resultados detalhados das simulações são apresentados nos Apêndices A e B.

3.2.1 Análise Qualitativa do Terreno

A área disponibilizada (Figura 4) para construção da usina era utilizada para agricultura (plantio de soja, milho, trigo, dentre outras). O terreno possui leve inclinação sudoeste, com a inclinação variando de 2 a 11% em diferentes pontos do terreno.

Figura 4 – Área disponibilizada para implantação da usina fotovoltaica.



Fonte: Autoria Própria (2023).

À norte do local previamente pensado o proprietário possui alguns silos e um conjunto de secadores de grãos, que são usados para armazenamento. Tais silos possuem altura de até 18m, projetando sombreamento em determinados horários do dia. Tal sombreamento é mais ou menos recorrente de acordo com a estação do ano (com maior impacto no inverno). Portanto, nas simulações, observou-se a necessidade de modelar tal sombreamento e alterar a posição do local onde os painéis seriam instalados para encontrar um ponto que fique dentro do limite disponibilizado pelo proprietário e que mitigue os impactos do sombreamento dos silos. Para tanto, quanto mais a sul a usina for deslocada, menor era o impacto das sombras dos silos.

À leste do local originalmente pré determinado, encontram-se árvores de até 30m de altura que projetam sombra no local da usina ao final da tarde. Quanto mais próximo dessas árvores, maior a incidência de sombras.

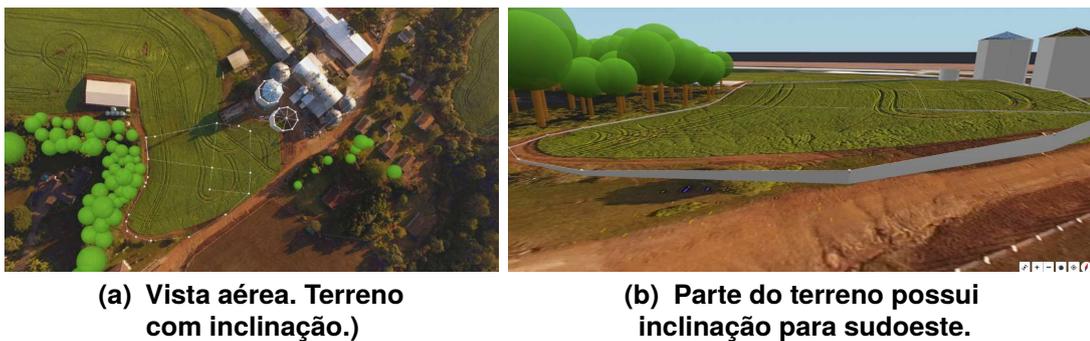
É desejável portanto posicionar os painéis fotovoltaicos de modo a mitigar os efeitos do referido sombreamento, todavia observando os limites do local designado

pelo proprietário para o posicionamento da usina.

Como o terreno possui inclinação a sudoeste, conforme mencionado, o nível do local da usina ficaria abaixo do plano das árvores e dos silos de armazenagem. Com isso, além da altura dos silos e árvores, foi necessário considerar aproximadamente de 3 a 6m de diferença de altura nas simulações, isso foi obtido desenhando-se um plano inclinado com orientação a sudoeste próxima do real.

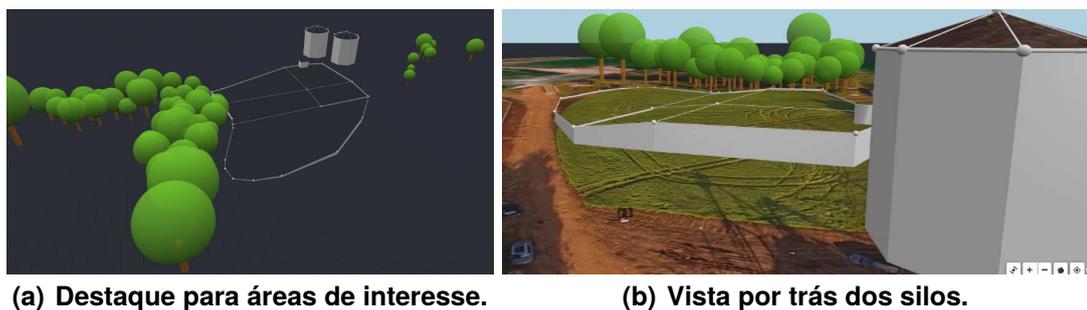
As Figuras 5 e 6 mostram detalhes da modelagem no *software Designer* da topologia do terreno e potenciais fontes de sombreamento, para que pudesse ser dimensionado seus impactos na performance de geração e assim determinar com precisão milimétrica as posições das mesas de forma a atingir níveis de eficiência satisfatórios.

Figura 5 – Modelagem de possíveis fontes de sombreamento e topologia do terreno - Parte 1.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 6 – Modelagem de possíveis fontes de sombreamento e topologia do terreno - Parte 2.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.2.2 Softwares de Simulação

Para simulação dos impactos de sombreamento dos obstáculos, inclinação do terreno e pré-definição de posicionamento das fileiras, foi dado preferência ao *software*

de simulação gratuito *Designer* da fabricante de inversores *Solaredge*. A ferramenta oferece uma interface simples, responsiva e *online*, não sendo necessário uso de licenças ou instalação na máquina, toda modelagem e simulação pode ser feita via navegador.

Para simulação de geração foi utilizado também o software *PVSyst*, no qual foram inseridos os parâmetros de localização, modelo e quantidade de painéis e inversores.

3.2.3 Conexão à Rede Interna da Fazenda

Para conexão da usina é necessário que a entrada de energia do cliente bem como a rede da concessionária suportem a potência da usina.

Para tanto, é obrigatório que a potência máxima na parte CA da usina fotovoltaica seja menor ou igual à potência da entrada de energia e à demanda contratada do cliente.

Com disjuntor de entrada trifásico de 500A e tensão secundário em 380V, é possível verificar que o transformador do cliente é de 300kVA. O dado pode e deve ser confirmado junto à concessionária de energia. Como a potência máxima CA será limitada pelos 180kW dos inversores a usina pode ser conectada à rede existente do cliente.

Além disso, para que seja permitida a conexão da usina, é necessário fazer um ajuste na demanda contratada de modo que esta seja maior ou igual à potência máxima CA da UFV, ou seja, maior ou igual a 180kW.

3.3 DOCUMENTAÇÃO, HOMOLOGAÇÃO E APROVAÇÃO DE PROJETO JUNTO À CONCESSIONÁRIA

A Usina Fotovoltaica referida neste trabalho foi implementada junto à concessionária Copel-DIS, no estado do Paraná. Será apresentado à seguir o passo a passo e uma lista simplificada da documentação exigida para submissão de projeto para obtenção do Parecer de Acesso.

O documento Parecer de Acesso é expedido após análise documental e de projeto pela concessionária e pertence ao proprietário da usina, isto é, ao titular do empreendimento. O Parecer de Acesso fornece as condições para que o acessante

possa conectar sua usina à rede, inclusive viabilidade ou não-viabilidade técnica de conexão.

Para elaboração do projeto é necessário que um RT (responsável técnico) competente seja indicado pelo acessante. O responsável técnico assumirá responsabilidade pelo projeto e pelo empreendimento perante a concessionária. Ele vai elaborar o projeto, coletar a documentação de projeto e submeter para apreciação da concessionária.

Para este projeto foram necessários:

- ART: Anotação de Responsabilidade Técnica, emitido pelo engenheiro competente da empresa executora e assinado pelo proprietário;
- Declaração de Dispensa de Licença Ambiental: devido ao porte da usina e a área utilizada, não é necessária obtenção de licenças ambientais junto aos órgãos competentes, apenas esta declaração assinada pelo proprietário do empreendimento. Para cada projeto é necessário observar a necessidade ou não de licenciamento ambiental;
- Procuração Responsável Técnico: é um documento de validade jurídica no qual o cliente/proprietário nomeia o responsável técnico para representar com plenos poderes o cliente para a finalidade de projeto perante a concessionária;
- Solicitação de Acesso Minigeração: documento com dados da usina e do proprietário, contendo informações como potência da usina, dos inversores, tipo de instalação (solo ou telhado), tipo de geração (solar, eólica, biomassa, etc);
- Cronograma do empreendimento: apresenta à concessionária o cronograma planejado de conexão da usina;
- Memorial descritivo: apresenta de forma sucinta uma visão geral do projeto, constando os dados do acessante, dos equipamentos elétricos, planta situacional, folha de dados dos painéis e inversores, dentre outros. Um erro comum é fazer um documento extenso e contendo informações redundantes ou desnecessárias. Um memorial descritivo deve ser sempre objetivo, claro, simples e conter as informações essenciais do projeto;
- Termo de Responsabilidade Técnica: O responsável técnico designado encaminha este termo assinado, atestando que ele é o responsável técnico do empreendimento;
- Diagramas unifilares da usina: deve ser enviado as pranchas com diagramas

contendo as ligações CA e CC da usina.

Após envio de toda documentação nos canais indicados pela concessionária e corrido o prazo para análise, em caso de aprovação será enviado ao cliente o parecer de acesso. Para projetos de minigeração este Parecer tem validade de 12 meses contados de sua emissão. Em caso de reprova, o RT será notificado com as correções necessárias a se fazer, após corrigidas todas as pendências, o projeto deve ser submetido novamente até que saia novo resultado.

3.4 CONSTRUÇÃO DA USINA: PERFURAÇÕES, CONCRETAGEM DOS PILARES E MONTAGEM DAS MESAS

A montagem das estruturas de solo se dá após definições de local, projeto civil e determinação da posição das mesas e estacas.

As etapas da montagem das estruturas incluem os seguintes passos:

- Demarcar os locais de perfuração;
- Perfurar o solo com broca apropriada de acordo nos pontos demarcados;
- Posicionar, nivelar e alinhar as estruturas a ser concretadas;
- Fazer o enchimento de concreto nos buracos ao chão com as estruturas posicionadas e aguardar o processo de cura;
- Posicionar e montar as estruturas: longarinas e perfis;
- Aterrizar as estruturas na malha de aterramento projetada.

As etapas mencionadas serão relatadas com maiores detalhes a seguir.

3.4.1 Demarcar os locais de perfuração

Após as visitas em campo para determinar a posição da UFV e elaboração do projeto civil/mecânico se dá o início da construção. O primeiro passo foi demarcar a posição onde seriam inseridas as fixações de metal da usina.

A estrutura é confeccionada de metal duplamente galvanizado à fogo para que possa resistir aos efeitos de corrosão causados pelo tempo.

Para demarcar, foram utilizadas estacas de madeira para indicar onde deveriam ser feitos os furos através de maquinário adequado. Após fixar todas as estacas, é importante se realizar uma foto aérea com drone para equiparar com o projeto e se

certificar que o posicionamento está correto, conforme Fotografia 5.

Fotografia 5 – Área demarcada com estacas de madeira indicando local para perfuração.



Fonte: Autoria Própria.

3.4.2 Perfurar o solo com broca apropriada de acordo nos pontos demarcados

Após as demarcações, a equipe de perfuração entrou em atividade com uma broca de 400mm de diâmetro. A profundidade do furo se deu de acordo com a folha de dados da estrutura e manual de instalação fornecido pelo fabricante da estrutura.

O equipamento utilizado para perfuração foi uma perfuratriz rotativa com acionamento hidráulico, acoplado a um trator. Este equipamento é indicado quando se deseja adquirir velocidade no processo de perfuração, mais indicado para usinas de médio e grande porte (acima de 200kWp). Para usinas menores, até 20kWp pode ser utilizado maquinário de mão à combustão. Acima de 20kWp pode ser utilizado ainda um trator acoplado a um sistema de perfuração com broca, solução largamente utilizada para perfurações de pequena a média escala (20 a 400kWp). As Fotografias 6 mostram detalhes da perfuração no solo.

Fotografia 6 – Etapa de perfuração do solo: para esta obra optou-se por utilizar uma conjunto perfuratriz hidráulico.



(a) Perfuração do solo com trator perfuratriz.

(b) Outro ângulo do processo de perfuração.

Fonte: Autoria própria (2023).

3.4.3 Posicionar, nivelar e alinhar as estruturas a ser concretadas

Após perfurações as estruturas devem ser posicionadas no buraco aberto e travadas, Fotografias 7. Durante o travamento deve ser feito o nivelamento e alinhamento para que as mesas sejam montadas de forma correta e sem desvios.

O travamento das estacas podem ser feitos através de gabaritos de madeira. Com todas as estacas posionadas e travadas se inicia o processo de concretagem.

Fotografia 7 – Vista global das perfuração e posicionamento dos pilares.



(a) Posicionamento dos pilares nas perfurações.

(b) Mais detalhes do posicionamento dos pilares nos furos.

Fonte: Autoria própria (2023).

3.4.4 Fazer o enchimento de concreto nos buracos ao chão com as estruturas posicionadas e aguardar o processo de cura

O concreto deve ser feito na proporção de acordo ao que pede o fabricante das estruturas. O concreto é simplesmente despejado no buraco a ser preenchido

juntamente com a estaca/pilar das estruturas de aço.

Após concretagem é importante aguardar em torno de 4 a 8 dias para que o concreto seja completamente curado, antes de seguir com a montagem das longarinas.

A Fotografia 8 mostra o aspecto da usina após o procedimento de concretagem de todas as bases da UFV.

Fotografia 8 – Imagem de drone após concretagem de todos pilares da UFV.



Fonte: Autoria Própria (2023).

3.4.5 Posicionar e montar as estruturas: Tesouras, terças e mãos francesas

Após cura do concreto se inicia a montagem da estrutura. As tesouras são fixadas nos pilares concretados. O manual de instalação das estruturas fornecem todos os passos e lista de ferramental necessário para montagem.

Após montagem é preciso fazer o alinhamento e esquadrejamento das estruturas. Os parafusos devem ser apertados com torquímetro, de acordo com o indicado pelo fabricante. A Fotografia 9 mostra parte do processo.

3.4.6 Aterrar as estruturas na malha de aterramento projetada

Com as estruturas montadas, foi realizada a conexão das mesmas à malha de aterramento da usina. A malha de aterramento consiste na conexão de múltiplas

Fotografia 9 – Montagem das estruturas.



Fonte: Autoria Própria (2023).

hastes de aterramento com cabeamento nu, por sua vez interligado em diversos pontos das estruturas. Por ser de metal e estarem diretamente em contato com o solo, a estrutura de fixação por si também ajuda na eficiência do aterramento, porém, a malha de aterramento foi dimensionada desconsiderando este ganho.

3.5 PASSAGEM DOS ELETRODUTOS E LANÇAMENTO DOS CABOS CC E CA

Após montagem das estruturas são construídas as valetas entre as fileiras de painéis por onde serão passados os cabos CC da usina. Os eletrodutos CC são interligados por caixas de passagem de concreto e terminam na conexão dos inversores.

Os cabos CC fazem a conexão das *strings* de painéis aos inversores. Todos os grupos de cabos foram identificados para facilitar o processo de montagem e manutenções futuras. É importante se atentar ao correto dimensionamento das bitolas dos eletrodutos de modo a permitir a correta dissipação de calor dos condutores. As Fotografias 10 apresentam as valetas com tubulações prontas para receber os cabos CC.

Fotografia 10 – Acondicionamento dos eletrodutos CC e CA e detalhes das caixas de passagem.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.6 MONTAGEM E CONEXÃO DOS PAINÉIS, MONTAGEM DAS *STRINGS*

Após ou durante o lançamento dos cabos CC e CA pelas valetas e/ou eletrodutos se inicia a montagem dos painéis nas estruturas de fixação. Os painéis são normalmente transportados ainda nos *pallets* fechados para o canteiro de obras. Após conclusão da montagem das longarinas e o restante das estruturas, os módulos (painéis) fotovoltaicos são posicionados na estrutura um a um e presos com os grampos de fixação finais e intermediários.

Os painéis devem ser esquadrejados para que fiquem perfeitamente alinhados, tal procedimento pode ser feito com auxílio de linhas de *nylon*, esquadros e ferramentas auxiliares como trenas e gabaritos.

Com os painéis fixados já é possível fazer a conexão dos mesmos de acordo com o projeto. Os módulos são ligados em série em *strings* e posteriormente conectados aos cabos CC lançados anteriormente, que chegam até as *stringboxes* e aos inversores. As Fotografias 11 apresentam a montagem parcial dos módulos em andamento.

Fotografia 11 – Montagem dos módulos fotovoltaicos em andamento.



Fonte: Aatoria própria (2023).

3.7 FIXAÇÃO DOS INVERSORES E MONTAGENS QGBT

Os inversores devem ser fixados seguindo os requisitos dos manuais de instalação dos fabricantes, isto é, deve ser respeitado o distanciamento mínimo entre os inversores, inclinação, limite de conexão de inversores em paralelo, temperatura ambiente para trabalho. As Fotografias 12 mostra o posicionamento físico dos inversores no abrigo.

Fotografia 12 – Montagem final dos inversores.



Fonte: Aatoria própria (2023).

Os equipamentos utilizados possuem IP66, isto é, são resistente à maior parte do tipo de poeira e água que estariam sujeitos em campo. Por conta disso foi construído um abrigo aberto para melhor arrefecimento do conjunto. Este tipo de abrigo também facilita manutenção, tanto preventiva quanto corretiva.

O QGBT foi posicionado ao lado os inversores e será responsável por concen-

trar os dispositivos de manobra e proteção CA como disjuntores, pontos de energia para monitoramento e O&M e DPS. As Fotografias 13 apresenta o posicionamento e montagem final do QGBT.

Fotografia 13 – Posição do QGBT e montagem conexões internas.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.8 CONEXÃO CABEAMENTO CC E CA NOS INVERSORES, CONEXÃO À REDE DO CLIENTE

Os painéis são conectados entre si para formar *strings*, que por sua vez são levadas via cabeamento subterrâneo até os inversores. Os inversores são conectados via cabeamento CA de material HEPR dimensionados para potência nominal de cada inversor até o QGBT. Por fim uma rede CA subterrânea dimensionada para 180kWCA em 380VCA conecta o QGBT à rede interna do cliente, que neste caso é próximo ao padrão de entrada da fazenda.

3.9 TESTES DE TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO DAS *STRINGS*

Dentre os testes mais importantes, há a conferência das tensões de circuito aberto das *strings*. Conhecendo-se a tensão de circuito aberto (Voc) de cada painel e a quantidade de painéis conectados em série por *string*, é imprescindível a conferência desta medida.

Uma equipe de campo faz a medição da tensão de circuito aberto próximo aos inversores com as *strings* conectadas diretamente nos conectores MC4 para verificar discrepâncias entre o valor teórico e o valor real.

Alguns resultados básicos já podem indicar que tipo de falha pode ocorrer, por exemplo, falta de tensão ou tensão flutuante indica que o circuito está aberto em algum ponto. Um circuito aberto poderia ocorrer nos casos em que dois painéis não foram conectados entre si ao longo da *string*, ou ainda um cabo rompido, mal contato em um conector MC4, etc.

Caso a tensão de circuito aberto esteja maior ou menor que o valor esperado, pode significar que mais ou menos painéis foram conectados à *string* por engano. Por exemplo, se uma *string* é composta por 18 painéis e a Voc de cada painel é 47V, a medição esperada deveria ser algo em torno de 846V. Caso seja observado por exemplo um valor próximo de 987V, basta dividir este valor por 47V que se descobre que a *string* possui na verdade 21 painéis, ao invés de 18, indicando diferença entre o projeto e o que foi implementado, permitindo à equipe de campo e à engenharia corrigir a discrepância antes da conexão, pois uma falha deste tipo pode ocasionar na queima de inversores (caso a Voc da *string* ultrapasse os limites de tensão de entrada do inversor), ou até mesmo perdas e em últimos casos pode gerar arco voltaico na conexão ou abertura do circuito em possível manutenção futura. É um teste simples que evita graves problemas e falhas.

É recomendado que as *strings* sejam todas identificadas e que a equipe de testes tenha em o valor Voc teórico e, durante os ensaios, anote o valor real de Voc de cada *string*. Após comparar e constatar que os valores estão de acordo com o esperado, pode-se então fazer as conexões.

3.10 ENERGIZAÇÃO E COMISSONAMENTO DA USINA

Para a primeira energização da usina, deve-se verificar os níveis de tensão CA que chegam ao QGBT através de multímetro e avaliar se está dentro do esperado. Além disso, deve-se fazer medições entre as *strings* e o terra afim de verificar potencial curto-circuito com o terra.

Após esta análise deve-se primeiro ligar parte CC da usina, energizando os inversores, e posteriormente a parte CA. Para estes modelos de inversores, o profissional (técnico ou engenheiro) responsável pelo comissionamento configura os equipamentos através de conexão via *bluetooth* destes com aplicativos previamente instalados no celular. Após seguir o passo-a-passo indicado nos manuais e as configurações forem concluídas, os equipamentos irão reiniciar entrar em operação.

Após energizado, é imprescindível realizar uma série de testes e aferições do sistema, como por exemplo mas não se limitando a:

- Medir as correntes de cada *string* afim de comparar com valores esperados (nominais).
- Medir tensão das *strings* em operação e comparar com valores nominais esperados.
- Medir tensão e corrente CA em casa fase e em cada inversor, comparar com valores nominais.
- Se estiver em um dia de sol forte, após 15 ou 20 minutos é recomendável fazer uma análise com câmera termográfica em cada conector MC4 de em cada inversor, caso qualquer um apresente temperatura maior que os demais é importante desligar o inversor e avaliar trocar o MC4 ou ligar a *string* em outra entrada do inversor, pois poderá aquecer e causar arco-voltaico no futuro.
- Fazer inspeção termográfica nos disjuntores CA, barramentos, conexões, bornes, cabos, transformadores, etc.
- Se possível, fazer análise termográfica de todas as conexões entre os painéis fotovoltaicos afim de identificar possível aquecimento acima do normal.

Após todas estas medições, caso não haja nada fora do esperado ou fora do padrão, pode-se desligar o equipamento para aguardar a vistoria por parte da distribuidora de energia.

3.11 VISTORIA PELA DISTRIBUIDORA E INÍCIO DE FUNCIONAMENTO

Após conclusão da usina fotovoltaica, a distribuidora é solicitada a fazer uma vistoria da usina afim de liberar para funcionamento. Dentre os testes que são realizados, se destacam:

- Teste anti-ilhamento: desliga-se o disjuntor principal para verificar se o sistema desligará também.
- Vistoria dos inversores, para identificar se os mesmos estão de acordo com o projeto enviado para aprovação.
- Vistoria dos painéis para verificar se estão de acordo com o projeto.

Após conclusão da vistoria a usina então entra definitivamente em operação. A partir desta etapa normalmente se realiza uma reunião com o proprietário e pessoas por ele indicada para passar orientações sobre operação, manutenção, limpeza dos painéis, acionamento de garantias, entrega do memorial de projeto, desenhos e diagramas, ART, dentre outros documentos relevantes de projeto.

Após passar a orientação ao cliente, o mesmo pode acompanhar a performance da usina via aplicativo de monitoramento. É importante que seja feito um acompanhamento minucioso especialmente nas primeiras semanas, afim de constatar qualquer tipo de falha para que seja corrigida o quanto antes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A usina fotovoltaica de minigeração com potência de 244,75 kWp foi implementada e aprovada na vistoria realizada pela concessionária equipe da Copel. Após análise da produção de energia durante dois anos, constatou-se que a mesma foi capaz de entregar uma produção de energia dentro do esperado, o que comprova que foi bem dimensionada.

4.1 GERAÇÃO DE ENERGIA OBTIDA APÓS 2 ANOS DE OPERAÇÃO

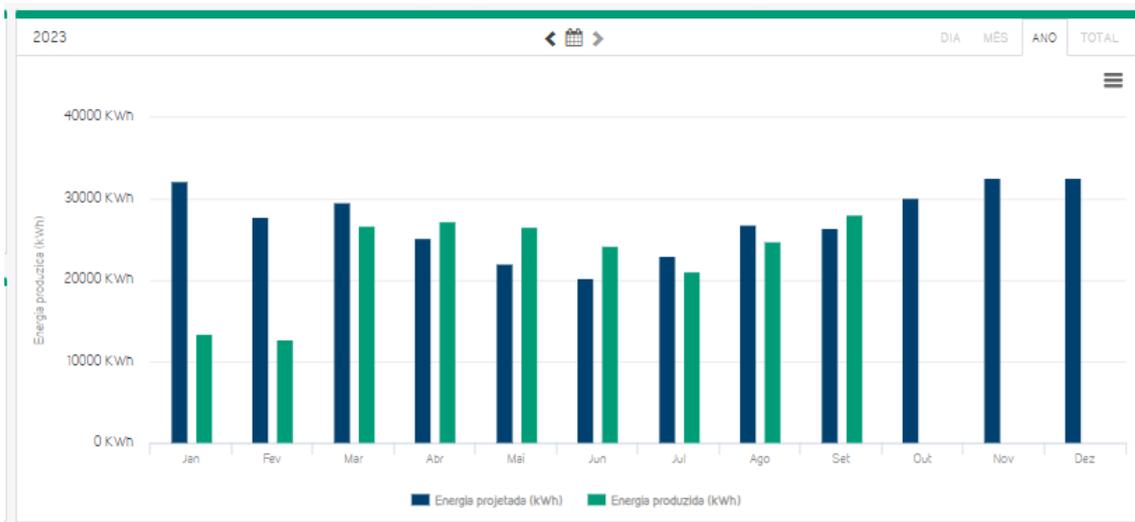
A usina entrou em operação no dia 30/11/2021. Após quase dois anos, a usina continua ativa e entregando uma boa produção de energia. Neste período houveram algumas falhas em alguns componentes que precisaram ser reparados ou substituídos, por exemplo, um dos inversores de 75KW apresentou falha após aproximadamente 1 ano de operação. A equipe de pós-venda da empresa GLOW Energia (responsável pelo desenvolvimento da usina) identificou a falha pelo sistema de monitoramento. Após avaliação em campo, o inversor foi substituído.

O Gráfico 2 apresenta a curva de geração mensal no ano de 2023 até o dia 30/09/2023. Devido à troca de um dos inversores, o gráfico de geração sofreu uma distorção que pode ser visualizada até o mês de março, data em que um dos inversores de 75kW foi substituído, perdendo com isso os dados do equipamento antigo. Portanto, a partir de abril é possível observar visualmente que a usina produz em geral mais energia do que o prometido ao cliente durante as fases de estudos e orçamentos.

O Gráfico 3 apresenta a curva de geração diária referente ao mês de setembro de 2023, pode-se observar que em alguns dias ultrapassa a marca de 1.300kWh produzidos em um único dia (16/09). As barras em azul é a energia projetada e em verde a produzida. Observa-se que na maioria das vezes a produção ficou bem acima do esperado, mesmo após dois anos de operação, ou seja, mesmo após 2 anos de degradação dos equipamentos e mesmo com certa sujeira depositada sobre os painéis.

O Gráfico 4 apresenta a curva de geração do dia 16/09/2023. Pode-se observar que houve tempo limpo em praticamente todo o dia. Este foi um dia particularmente muito quente, devido a uma forte onda de calor que atingiu a região. É possível observar que em certo momento do dia houve uma diminuição da potência de saída CA entregue pela

Gráfico 2 – Curva de geração mensal em 2023 - janeiro a setembro.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Gráfico 3 – Curva de geração diária em setembro/2023.



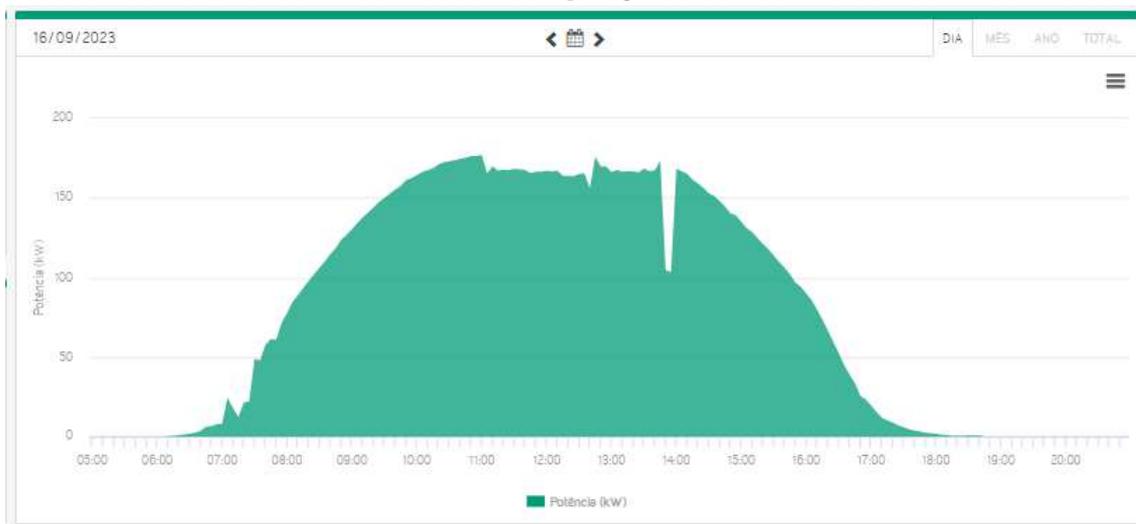
Fonte: Autoria Própria (2023).

usina. Isto provavelmente se deu ao que se chamada de *derating*, que nada mais é que a redução da potência de saída pelo *software* do próprio inversor devido ao atingimento de altas temperaturas. Mesmo o abrigo dos inversores ter sido propositalmente projetado e construído aberto pensando na ventilação dos inversores, e respeitando as distância entre os mesmos, observa-se os efeitos de temperatura sobre os equipamentos.

Este efeito existe para evitar o aumento acima do limite de temperatura interna dos equipamentos, o que resultaria em sua queima. Apesar disso, a usina entregou neste dia mais de 1.300kWh, o suficiente para alimentar a casa de 9 pequenas famílias durante 1 mês, não causando produção aquém do dimensionado.

O mais importante em uma usina fotovoltaica, além da operação em segurança,

Gráfico 4 – Curva de geração dia 16/09/2023.



Fonte: Autoria Própria (2023).

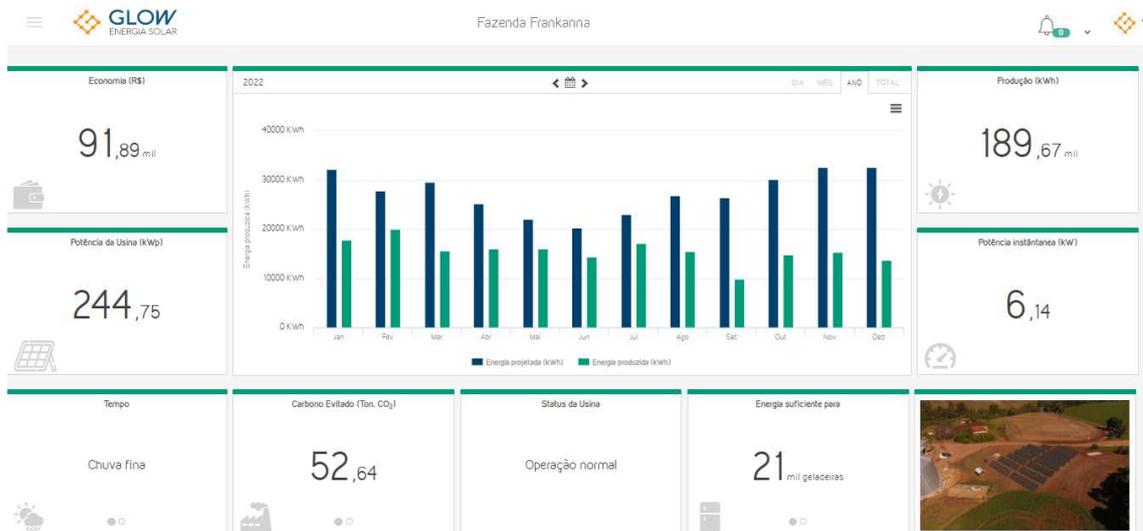
é que entregue a produção de energia esperada. Para avaliar se esta usina satisfaz este critério, basta analisar um ano completo de produção e comparar com a produção anual esperada.

Deve-se levar em conta que em alguns anos há mais períodos de chuva que a média histórica, e há outros que há mais períodos de estiagem que a média histórica. Quando ocorre mais estiagem, observa-se aplicação de bandeiras tarifárias devido à redução nos níveis dos reservatórios das hidroelétricas e maior produção solar, além disso, em anos com maiores índices de chuva, se observa menor produção de energia solar e maior produção hídrica. Na média, dos anos que se passam, a usina deve produzir o esperado, em alguns um pouco acima, em outros um pouco abaixo.

O Gráfico 5 apresenta a produção total no ano de 2022. Conforme já mencionado, este gráfico exclui um dos inversores de 75kW devido à falha que o mesmo apresentou em fevereiro de 2023, sendo necessário sua substituição, com isso perdendo-se seus dados de geração, porém o mesmo estava produzindo no período. Como são dois inversores de 75kW e um de 30kW, totalizando 180kW de inversores, pode-se dizer que o gráfico retrata 58,33% da produção real.

Como se observa no canto superior direito, a produção de 58,33% da usina foi de 189,67MWh. Portanto, pode-se concluir que 100% da usina produziu cerca de **325,17MWh** vs o esperado de **328,98MWh**. Com isso houve um desvio de apenas 0,91% do projetado.

Gráfico 5 – Curva de geração mensal vs esperado em 2022: o gráfico de geração apresenta apenas 58,33% da geração real, pois um dos inversores de 75KW teve seus dados de geração perdidos.



Fonte: Autoria Própria (2023).

4.2 MANUTENÇÕES PREVENTIVAS E CUIDADOS A SEREM OBSERVADOS

Em um dos eventos de manutenção preventiva da usina, além das limpezas rotineiras dos painéis e inversores, foi realizado uma inspeção visual nos painéis complementada com inspeção termográfica.

Durante a inspeção observou-se algumas plantas que cresceram entre os painéis e que faziam sombreamento parcial em alguns painéis. Foi observado que no local de sombreamento havia ocorrência dos chamados "hotspots", ou pontos quentes, que ocorrem justamente nestas ocasiões e são causadas pelo aumento da impedância local devido ao sombreamento e pelo aquecimento da corrente das strings que circula no local, fazendo com que uma ou mais células tenham sobreaquecimento, conforme Figuras 2

Para evitar este tipo de ocorrência que pode acarretar danos nos painéis, é essencial fazer controle da vegetação local para que não cresça o suficiente a ponto de sombrear células.

5 CONCLUSÕES

Fotografia 14 apresenta uma vista aérea do empreendimento finalizado.

Fotografia 14 – Imagem aérea da usina fotovoltaica finalizada.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Este trabalho buscou abordar as principais etapas do projeto, dimensionamento, construção e validação de uma usina fotovoltaica de minigeração em solo.

O Capítulo 1 apresentou a problemática do trabalho com dados históricos de como se desenvolveu a geração distribuída no Brasil, além dos objetivos do trabalho.

O Capítulo 2 buscou contextualizar a geração distribuída no Brasil e distingui-la da centralizada. Além disso, trouxe os principais componentes de uma usina fotovoltaica e deu detalhes de cada um deles, bem como trouxe dicas e sugestões para projetistas de usinas que venham fazer uso deste trabalho.

O Capítulo 3 abordou o dimensionamento da usina de forma a atender às necessidades do proprietário, além de validar através de levantamentos *in loco* e simulações se a direção do projeto estava correta. O dimensionamento da usina exige uma boa dose de conhecimento teórico, experiência prática em construção civil, montagens elétricas e bom senso, de forma a utilizar diferentes ferramentas para confirmar se a direção proposta está correta como se observou com a validação dos cálculos de geração através de diferentes *softwares*. O dimensionamento deve levar em conta a

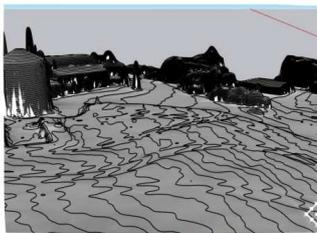
finalidade do empreendimento, sempre, buscando atender o escopo contratado de forma a evitar desperdícios e otimizar o orçamento do projeto.

O Capítulo 4 apresenta de forma objetiva que a geração da usina atendeu de forma muito satisfatória ao inicialmente esperado. Abordou também contratempos e intervenções comuns que podem ocorrer em qualquer usina de geração de energia deste porte. Só foi possível resolver os contratempos pelo fato de haver um projeto robusto e equipe técnica de projeto e construção com uma grande experiência e competência.

Portanto, é possível dizer que a Usina Fotovoltaica de 244,75kWp foi implantada com sucesso e que a produção de energia se mostrou satisfatória, com valores de acordo com o projetado e previsto nas simulações.

Figura 7 – Desenvolvimento da usina nas diferentes etapas.

ETAPAS DA IMPLEMENTAÇÃO



mapeamento topográfico 3D com uso de drone e software,



demarcação do terreno,



perfuração com maquinário adequado,



montagem mecânica das estruturas de fixação,



montagem dos painéis,



passagem dos cabos e construção de abrigo para os inversores,

Fonte: Autoria Própria (2023).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, A. **Bandeiras Tarifárias - Agência Nacional de Energia Elétrica**. Brasília, DF: [s. n.], 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 5 set. 2023.
- CHIAPPINI, G. **O preço da energia, a inflação dos alimentos e a fome**. [S. l.: s. n.], jul. 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/o-preco-da-energia-a-inflacao-dos-alimentos-e-a-fome/>. Acesso em: 5 set. 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, E. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020**. Brasília, DF: [s. n.], 2021. Publicações Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf. Acesso em: 5 set. 2023.
- ENERSOLAR, G. **Enersolar Usinas Fotovoltaicas**. Goiânia, GO: [s. n.], 2023. Galeria de Imagens Enersolar Usinas Fotovoltaicas. Disponível em: <https://enersolar.eng.br/galeria/>. Acesso em: 5 set. 2023.
- LUTHER, M. **Lutherbibel 1534**. [S. l.: s. n.], 1534.
- MEDEIROS FILHO, R. M. d. **Projeto e implantação de usina solar fotovoltaica com módulos de tecnologia bifacial**. 2021. F. 2021. 80. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/62180>.
- PEPPERS, R. H. C. **By the Way**. [S. l.: s. n.], 2002. Gravação Novembro de 2001 a Maio de 2002 em Cello Studios, Chateau Marmont em Los Angeles, California. Gênero(s) Rock alternativo, funk rock.
- PINHEIRO, G. **Avaliação experimental do comportamento térmico de inversores fotovoltaicos**. [S. l.: s. n.], nov. 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/avaliacao-experimental-do-comportamento-termico-de-inversores-fotovoltaicos/>. Acesso em: 7 ago. 2023.
- POLITECONAÇÃO ENGENHARIA LTDA. **Politec - MANUAL DE MONTAGEM POLITEC G20**. [S. l.], 2014. Rev. 2.0. Disponível em: <http://www.politec.eng.br/wp-content/uploads/2014/10/MANUAL-DE-MONTAGEM-G20.pdf>. Acesso em: 5 set. 2023.
- RISEN ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD. **RISEN ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.** [S. l.], 2020. Rev. G2.3.
- SOARES, M. d. A.; COSTA, H. K. d. M. A crise hídrica enfrentada em 2021: uma avaliação das principais medidas adotadas pelo Governo. eng. **Delos (Málaga)**, v. 16, n. 43, p. 489–503, 2023. ISSN 1988-5245.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** [S. l.]: Editora Érica, dez. 2012. 224 p. ISBN 9788536509785.

APÊNDICE A — RESULTADO DAS SIMULAÇÕES NO SOFTWARE PVSYST

Para validar se o sistema proposto entregaria a geração de energia esperada foi feito uso do software PVSyst para simulação de performance com os equipamentos utilizados. Este anexo apresenta em detalhes todos os dados simulados bem como resultados.

A primeira página apresenta os dados de *input*, isto é, os parâmetros de entrada da simulação, dentre os quais: localização, modelo dos painéis e inversores, ângulo azimutal, angulação com relação ao solo, quantade de PV, quantidade de inversores, arranjos das strings, dentre outros.

A terceira página apresenta o resultado da performance de geração ao longo dos meses (perfil de geração). Pela simulação é esperado que os meses de menor produção sejam próximos do inverno (maio, junho e julho). Historicamente, este é um período de bastante precipitação atmosférica. Como pode ser visto na Figura 2, as previsões geradas pelo software quanto ao perfil de geração foram corretas. Ainda na terceira página é apresentado um gráfico de performance da usina ao longo dos meses (*Performance Ratio*), além de uma tabela resumo contendo vários dados interessantes, sendo o mais importante deles, encontrado na penúltima coluna, isto é, a geração de fato exportada após o QGBT mensalmente e o total anual.

A última página da sumulação também apresenta um gráfico muito interessante e importante, o diagrama de perdas numa base anual. A Energia útil exportada pelo sistema portanto é de 338 MWh, o que fornece uma média de 28.167 kWh por mês, teoricamente entregando 6% mais energia do que o cliente precisa, todavia, vale lembrar que nesta simulação não foi modelado o impacto dos sombreamentos causados, visto que esta modelagem foi feita de forma mais visual em outro software.

PVSYST V6.88	SolarWatt Energia (Brazil)		02/10/23	Page 1/5
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project : UsinaFV-FazendaFrankanna				
Geographical Site		SUMATRA CARAMBEI PR	Country Brazil	
Situation		Latitude -25.01° S	Longitude -50.13° W	
Time defined as		Legal Time	Time zone UT-3	
		Albedo 0.20	Altitude 926 m	
Meteo data:		SUMATRA CARAMBEI PR	Meteonorm 7.2, Sat=100% - Sintético	
Simulation variant : usina-frankanna-thales				
		Simulation date	02/10/23 09h06	
Simulation parameters				
		System type	Unlimited sheds	
Collector Plane Orientation		Tilt 25°	Azimuth 0°	
Sheds configuration		Nb. of sheds 5	Unlimited sheds	
		Sheds spacing 8.04 m	Collector width 3.00 m	
Inactive band		Top 0.02 m	Bottom 1.38 m	
Shading limit angle		Limit profile angle 13.5°	Ground cov. Ratio (GCR) 37.3 %	
Models used		Transposition Perez	Diffuse Perez, Meteonorm	
Horizon		Free Horizon		
Near Shadings		Mutual shadings of sheds		
User's needs :		Unlimited load (grid)		
PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)				
PV module		Si-mono	Model LR4-72 HPH 445 M G2	
Original PVsyst database		Manufacturer	Longi Solar	
Sub-array "Sub-array #1"				
Number of PV modules		In series 17 modules	In parallel 6 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 102	Unit Nom. Power 445 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 45.4 kWp	At operating cond. 41.5 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 631 V	I mpp 66 A	
Sub-array "Sub-array #2"				
Number of PV modules		In series 16 modules	In parallel 28 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 448	Unit Nom. Power 445 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 199 kWp	At operating cond. 182 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 594 V	I mpp 307 A	
Total Arrays global power		Nominal (STC) 245 kWp	Total 550 modules	
		Module area 1195 m²	Cell area 1091 m ²	
Sub-array "Sub-array #1" : Inverter				
Original PVsyst database		Model	SUN2000-33KTL-A	
Characteristics		Manufacturer	Huawei Technologies	
		Operating Voltage 200-1000 V	Unit Nom. Power 30.0 kWAc	
			Max. power (=>40°C) 33.0 kWAc	
Inverter pack		Nb. of inverters 1 units	Total Power 30 kWAc	
			Pnom ratio 1.51	
Sub-array "Sub-array #2" : Inverter				
Custom parameters definition		Model	SIW400G T075 W0	
Characteristics		Manufacturer	WEG	
		Operating Voltage 200-1000 V	Unit Nom. Power 75.0 kWAc	
			Max. power (=>40°C) 82.5 kWAc	
Inverter pack		Nb. of inverters 2 units	Total Power 150 kWAc	
			Pnom ratio 1.33	
Total		Nb. of inverters 3	Total Power 180 kWAc	

Grid-Connected System: Simulation parameters

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const) 20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Array#1 159 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Array#2 32 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Global	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss		Loss Fraction -0.4 %
Module Mismatch Losses		Loss Fraction 1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss		Loss Fraction 0.10 %

Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	25°	45°	60°	65°	70°	75°	80°	90°
1.000	1.000	0.995	0.962	0.936	0.903	0.851	0.754	0.000

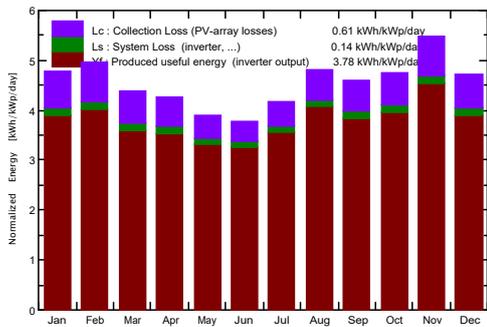
Grid-Connected System: Main results

Project : UsinaFV-FazendaFrankanna
Simulation variant : usina-frankanna-thales

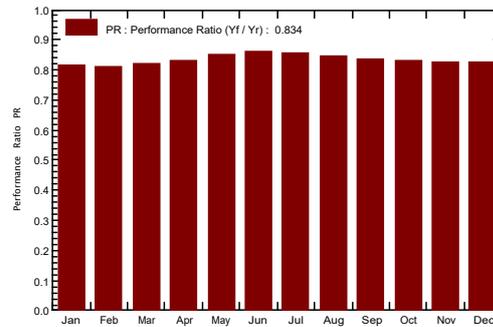
Main system parameters		System type	Unlimited sheds
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	LR4-72 HPH 445 M G2	Pnom 445 Wp
PV Array	Nb. of modules	550	Pnom total 245 kWp
Inverter	Model	SUN2000-33KTL-A	Pnom 30.0 kW ac
Inverter	Model	SIW400G T075 W0	Pnom 75.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total 180 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results	
System Production	Produced Energy 338.0 MWh/year Specific prod. 1381 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR 83.36 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 245 kWp



Performance Ratio PR



usina-frankanna-thales
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	161.7	81.48	21.03	147.8	141.2	30.61	29.44	0.814
February	142.6	66.44	21.36	138.5	132.9	28.55	27.49	0.811
March	131.1	76.06	21.03	136.0	130.3	28.38	27.35	0.821
April	110.2	48.47	18.87	128.0	123.7	26.99	26.00	0.830
May	96.1	43.84	15.26	121.1	117.2	26.18	25.22	0.851
June	85.3	34.93	14.46	113.1	109.9	24.73	23.84	0.861
July	98.5	39.14	13.67	129.0	125.4	28.05	27.08	0.858
August	121.2	47.31	15.16	148.8	144.2	31.91	30.82	0.846
September	125.1	58.54	15.37	137.4	132.3	29.18	28.14	0.837
October	147.7	77.67	17.86	147.2	140.7	31.09	29.97	0.832
November	176.5	86.48	18.71	163.7	156.3	34.33	33.16	0.827
December	161.0	94.87	20.22	145.7	138.7	30.58	29.44	0.825
Year	1556.9	755.23	17.73	1656.4	1592.8	350.59	337.95	0.834

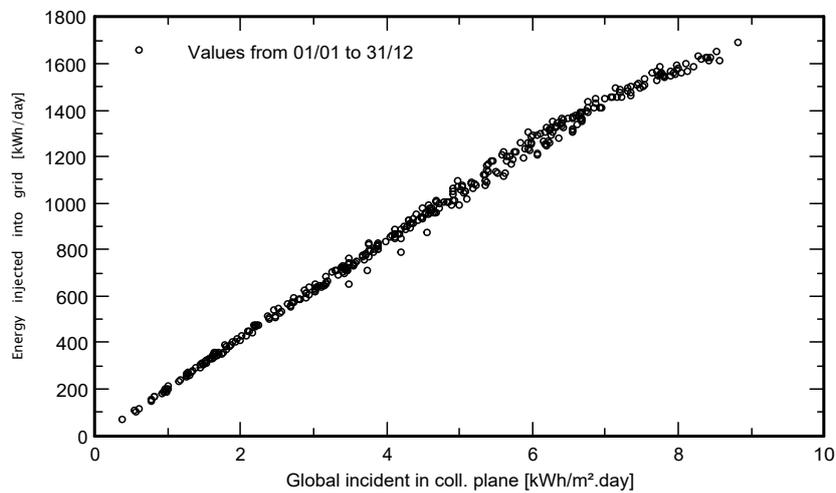
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation EArray Effective energy at the output of the array
 T_Amb T amb. E_Grid Energy injected into grid
 GlobInc Global incident in coll. plane PR Performance Ratio

Grid-Connected System: Special graphs

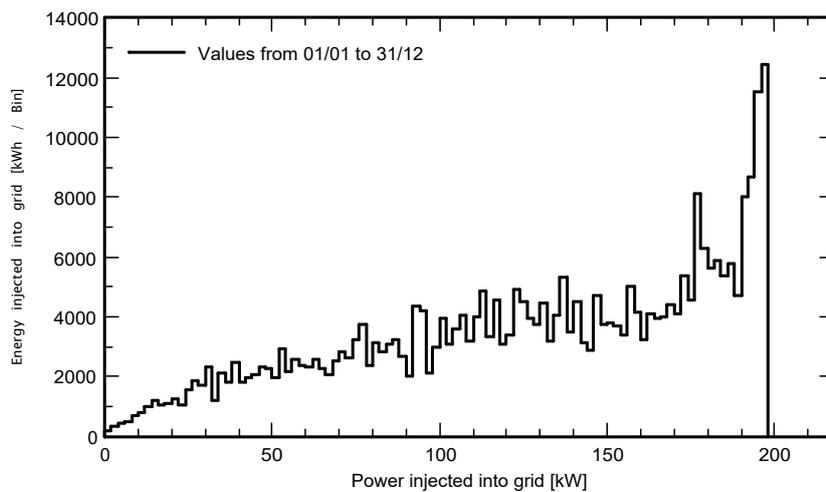
Project : UsinaFV-FazendaFrankanna
Simulation variant : usina-frankanna-thales

Main system parameters		System type	Unlimited sheds
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	LR4-72 HPH 445 M G2	Pnom 445 Wp
PV Array	Nb. of modules	550	Pnom total 245 kWp
Inverter	Model	SUN2000-33KTL-A	Pnom 30.0 kW ac
Inverter	Model	SIW400G T075 W0	Pnom 75.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total 180 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution

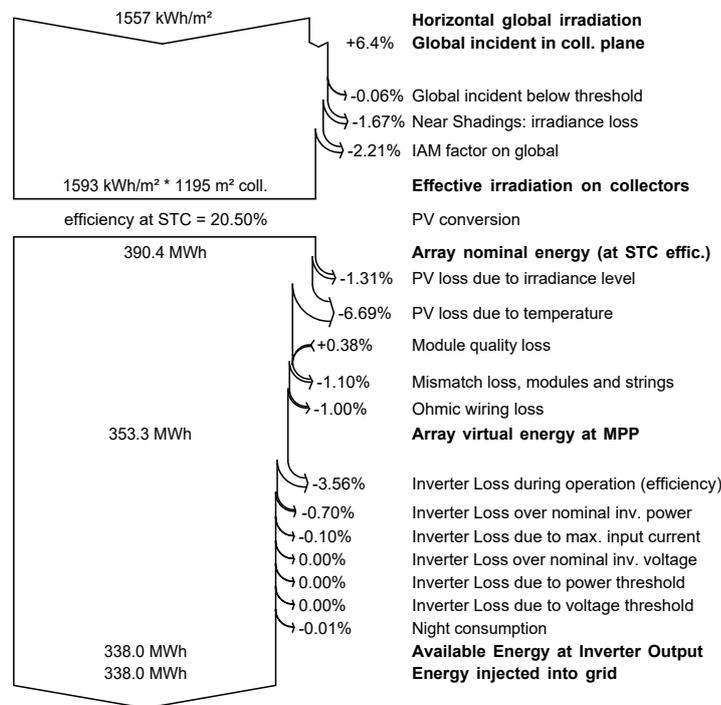


Grid-Connected System: Loss diagram

Project : UsinaFV-FazendaFrankanna
Simulation variant : usina-frankanna-thales

Main system parameters	System type Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt 25°	azimuth 0°
PV modules	Model LR4-72 HPH 445 M G2	Pnom 445 Wp
PV Array	Nb. of modules 550	Pnom total 245 kWp
Inverter	Model SUN2000-33KTL-A	Pnom 30.0 kW ac
Inverter	Model SIW400G T075 W0	Pnom 75.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units 3.0	Pnom total 180 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)	

Loss diagram over the whole year



**APÊNDICE B — RESULTADO DAS SIMULAÇÕES
ALTERNATIVAS NO SOFTWARE DESIGNER**

Para que se pudesse ter ainda mais certeza se o sistema proposta atendia às necessidades do cliente e pensando em otimizar o posicionamento dos mesas para evitar sombreamento, foi realizada uma simulação aternativa com o software Designer, da fabricante de inversores SolarEdge.

A tecnologia consolidada da SolarEdge empresa a tecnologia MLPE (Eletrônica de Potência a Nível Módulo), isto é, faz uso de otimizadores de potência para que o desempenho individual de cada painel seja extraído ao máximo. Bem útil especialmente para áreas classificadas com risco de incêndio e em regiões parcialmente sombreadas. Todavia, os inversores de string já possuem sistemas que empregam inteligência artificial na detecção de arcos voltaicos antes que ocorra acidentes, o que aumentou muito a segurança dos mesmos, além de ser um sistema mais simples e mais barato, visto que não utiliza otimizadores (que agrega maior custo) e implica mais partes no sistema para manutenção preventiva e corretiva, o que auemnta gastos com O&M. Portanto, o projetista deve avaliar o contexto da aplicação para decidir entre a tecnologia string ou MLPE.

Apesar de se fazer uso da tecnologia string neste empreendimento, o software Designer é gratuito, intuitivo e altamente confiável. Ele permite inserção de fotos de drone em conjunto com o Google Maps, permite facilmente modelar usinas de solo e telhado, além de barreiras como postes, árvores, silos, dentre outros, para cálculo de impactos de sombreamento, esta por sinal, que é uma das ferramentas mais úteis do software, pois permite visualizar em forma de mapa de calor as regiões mais propícias a sombreamento (cor roxa).

A primeira página apresenta um panorama da usina com o mapa de calor mencionado, quanto mais amarelo, melhor a incidência solar. Além disso, já apresenta a curva de geração esperada, é possível ver que condiz com as simulações do PVSyst e com a curva real.

A segunda e terceira páginas mostram um resumo dos arranjos colocados nesta simulação, bem como modelo dos painéis, dos inversores e otimizadores.

A página mais interessante é a quarta, na qual mostra o gráfico de geração anual juntamente com as perdas. Observa-se que neste modelo, haveria uma perda devido à sombreamento 3,07%. A perda de *clipping* é devido ao fator de sobredimensionamento do inversor, que neste caso é de apenas 1,35%, o que totalmente justifica o emprego desta técnica de dimensionamento, já que evita um custo 20% maior com inversores

e cabeamento CA. Portanto está justificado uso de apenas 180KWCA para 244,75 kWpCC, visto que para uma potência CA igual à CC, o cliente deveria investir em mais inversores, que exigiriam mais cabeamentos e proteções CA, o que aumentaria o custo em mais de 20% para um ganho de geração de apenas 1,35%. Um projetista experiente fará bom uso deste recurso sem exageros, para evitar o desgaste precoce dos equipamentos e aumento da perda devido ao *clipping*. No Brasil, é comum se trabalhar com fator de sobredimensionamento entre 130 e 150%.

FRANKANNA TCC THALES (1)
 Unnamed Road, 84145-000, Brazil | Oct 14, 2023



SYSTEM OVERVIEW

550 PV modules

3 Inverters

275 Optimizers

SIMULATION RESULTS

Installed DC Power
244.75 kWp

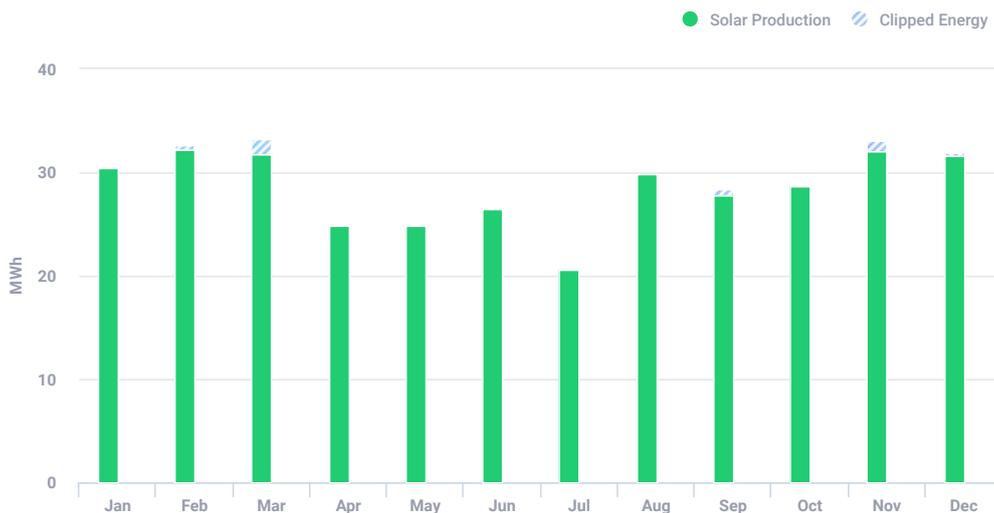
Max Achieved AC Power
175.80 kW

Annual Energy Production
341.02 MWh

CO2 Emission Saved (Annually)
54.22 t

Equivalent Trees Planted (Annually)
2,490

ESTIMATED MONTHLY ENERGY



Total clipped energy: 1.35%

FRANKANNA TCC THALES (1)
 Unnamed Road, 84145-000, Brazil | Oct 14, 2023



PV MODULES

# Module	Model	Peak power	Racking type	Orientation	Azimuth	Tilt
76	Risen Energy Co. Ltd., RSM156-6-445M (user-defined)	33.8 kWp			351°	14°
114	Risen Energy Co. Ltd., RSM156-6-445M (user-defined)	50.7 kWp			355°	20°
114	Risen Energy Co. Ltd., RSM156-6-445M (user-defined)	50.7 kWp			354°	20°
76	Risen Energy Co. Ltd., RSM156-6-445M (user-defined)	33.8 kWp			351°	14°
170	Risen Energy Co. Ltd., RSM156-6-445M (user-defined)	75.7 kWp			354°	20°
Total:	550	244.8 kWp				

BILL OF MATERIALS (BOM)

Items	Part Number	Quantity	Price (R\$)	Total (R\$)
 SE75K		2	0.00	0.00
 SE27.6K		1		
 P950		275		
 RSM156-6-445M		550		

FRANKANNA TCC THALES (1) Unnamed Road, 84145-000, Brazil Oct 14, 2023	
---	---

Inverters & Storage	Strings per inverter	Optimizers per string	PV modules per string
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> 1 xSE75K 105.91kW 142% Oversizing </div> </div>	Center Unit		
	∩ 2 x strings	 20 x P950 (2:1)	 40
	Left Unit		
	∩ 2 x strings	 20 x P950 (2:1)	 40
	Right Unit		
	∩ 1 x string	 20 x P950 (2:1)	 40
∩ 1 x string	 19 x P950 (2:1)	 38	
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> 1 xSE75K 101.46kW 136% Oversizing </div> </div>	Center Unit		
	∩ 2 x strings	 19 x P950 (2:1)	 38
	Left Unit		
	∩ 2 x strings	 19 x P950 (2:1)	 38
	Right Unit		
	∩ 2 x strings	 19 x P950 (2:1)	 38
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> 1 xSE27.6K 37.38kW 142% Oversizing </div> </div>	∩ 2 x strings	 21 x P950 (2:1)	 42

FRANKANNA TCC THALES (1)
 Unnamed Road, 84145-000, Brazil | Oct 14, 2023



SYSTEM LOSS DIAGRAM



SIMULATION PARAMETERS



LOCATION & GRID

Time zone	GMT-3 (Sao_Paulo)
Weather station	Ponta Grossa (10.3 km away)
Station altitude	913 m
Station data source	Meteonorm 7.1
Grid	380V L-L, 220V L-N



LOSS FACTORS

Near shading	Enabled
Albedo	0.20
Bi-Facial Albedo	0.30
Soiling/Snow	0%
Incidence angle modifier (IAM), ASHRAE b0 param.	0.05
Thermal loss factor Uc (const) Flush mount	20
Thermal loss factor Uc (const) Tilted	29
LID loss factor	0%
System unavailability	0%

ANEXO A — DIAGRAMAÇÃO DAS STRINGS DOS INVERSORES

Figura 8 – Distribuição das Strings por Inversor.

PVn1	Cor inversor	Secundaria	Primaria	String	nº placas série	Inversor	MPPT	Entrada	Voc String (V)	Horien tação	P PV/ Inversor (W)	P Inversor (kW)	Oversize	Descrição Completa da String
19	Cinza	Preto	Amarelo	String 1	19	1	1	1	1007	N	101460	75	135%	Cinza-Preto-Amarelo-String 1-19PV-Inversor 1-MPPT-1
38	Cinza	Preto	Azul	String 2	19		1	2	1007	N				Cinza-Preto-Azul-String 2-19PV-Inversor 1-MPPT-1
57	Cinza	Preto	Vermelho	String 3	19		1	3	1007	N				Cinza-Preto-Vermelho-String 3-19PV-Inversor 1-MPPT-1
76	Cinza	Preto	Verde	String 4	19		2	1	1007	N				Cinza-Preto-Verde-String 4-19PV-Inversor 1-MPPT-2
95	Cinza	Laranja	Amarelo	String 5	19		2	2	1007	N				Cinza-Laranja-Amarelo-String 5-19PV-Inversor 1-MPPT-2
114	Cinza	Laranja	Azul	String 6	19		2	3	1007	N				Cinza-Laranja-Azul-String 6-19PV-Inversor 1-MPPT-2
133	Cinza	Laranja	Vermelho	String 7	19		3	1	1007	N				Cinza-Laranja-Vermelho-String 7-19PV-Inversor 1-MPPT-3
152	Cinza	Laranja	Verde	String 8	19		3	2	1007	N				Cinza-Laranja-Verde-String 8-19PV-Inversor 1-MPPT-3
171	Cinza	Rosa	Amarelo	String 9	19		3	3	1007	N				Cinza-Rosa-Amarelo-String 9-19PV-Inversor 1-MPPT-3
190	Cinza	Rosa	Azul	String 10	19		4	1	1007	N				Cinza-Rosa-Azul-String 10-19PV-Inversor 1-MPPT-4
209	Cinza	Rosa	Vermelho	String 11	19		4	2	1007	N				Cinza-Rosa-Vermelho-String 11-19PV-Inversor 1-MPPT-4
228	Cinza	Rosa	Verde	String 12	19		4	3	1007	N				Cinza-Rosa-Verde-String 12-19PV-Inversor 1-MPPT-4
247	Roxo	Preto	Amarelo	String 13	19	2	1	1	1007	N	101460	75	135%	Roxo-Preto-Amarelo-String 13-19PV-Inversor 2-MPPT-1
266	Roxo	Preto	Azul	String 14	19		1	2	1007	N				Roxo-Preto-Azul-String 14-19PV-Inversor 2-MPPT-1
285	Roxo	Preto	Vermelho	String 15	19		1	3	1007	N				Roxo-Preto-Vermelho-String 15-19PV-Inversor 2-MPPT-1
304	Roxo	Preto	Verde	String 16	19		2	1	1007	N				Roxo-Preto-Verde-String 16-19PV-Inversor 2-MPPT-2
323	Roxo	Laranja	Amarelo	String 17	19		2	2	1007	N				Roxo-Laranja-Amarelo-String 17-19PV-Inversor 2-MPPT-2
342	Roxo	Laranja	Azul	String 18	19		2	3	1007	N				Roxo-Laranja-Azul-String 18-19PV-Inversor 2-MPPT-2
361	Roxo	Laranja	Vermelho	String 19	19		3	1	1007	N				Roxo-Laranja-Vermelho-String 19-19PV-Inversor 2-MPPT-3
380	Roxo	Laranja	Verde	String 20	19		3	2	1007	N				Roxo-Laranja-Verde-String 20-19PV-Inversor 2-MPPT-3
399	Roxo	Rosa	Amarelo	String 21	19		3	3	1007	N				Roxo-Rosa-Amarelo-String 21-19PV-Inversor 2-MPPT-3
418	Roxo	Rosa	Azul	String 22	19		4	1	1007	N				Roxo-Rosa-Azul-String 22-19PV-Inversor 2-MPPT-4
437	Roxo	Rosa	Vermelho	String 23	19		4	2	1007	N				Roxo-Rosa-Vermelho-String 23-19PV-Inversor 2-MPPT-4
456	Roxo	Rosa	Verde	String 24	19		4	3	1007	N				Roxo-Rosa-Verde-String 24-19PV-Inversor 2-MPPT-4
475	Branco		Amarelo	String 25	19	3	1	1	1007	N	41830	30	139%	Branco-Amarelo-String 25-19PV-Inversor 3-MPPT-1
494	Branco		Azul	String 26	19		1	2	1007	N				Branco-Azul-String 26-19PV-Inversor 3-MPPT-1
513	Branco		Vermelho	String 27	19		2	3	1007	N				Branco-Vermelho-String 27-19PV-Inversor 3-MPPT-2
532	Branco		Verde	String 28	19		2	4	1007	N				Branco-Verde-String 28-19PV-Inversor 3-MPPT-2
550	Branco	ROSA	Amarelo	String 29	18		3	5	954	N				Branco-ROSA-Amarelo-String 29-18PV-Inversor 3-MPPT-3

Fonte: Autoria Própria.

**ANEXO B — FOLHA DE DADOS DO MÓDULO
MONOCRISTALINO RISEN UTILIZADO NO PROJETO**

Jäger Plus
HIGH PERFORMANCE
MONOCRYSTALLINE PERC MODULE

RSM156-6-430M-455M

156 CELL Mono PERC Module	430-455Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	21.0% Maximum Efficiency

G2.3

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



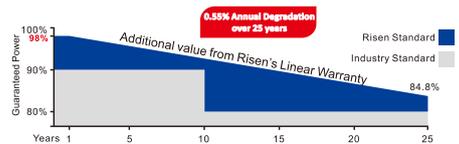
RISEN ENERGY CO., LTD.

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

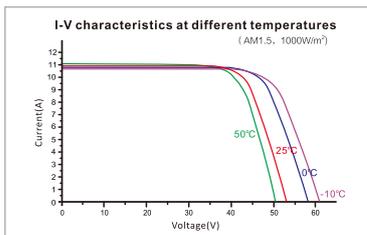
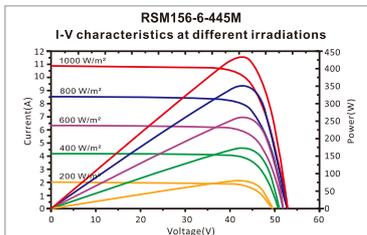
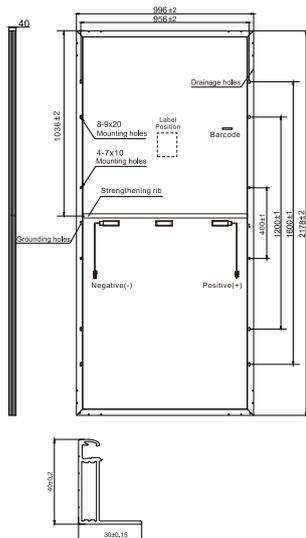


LINEAR PERFORMANCE WARRANTY
12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty



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

THE POWER OF RISING VALUE

Dimensions of PV Module Unit: mm

Our Partners:

REM156-M-9BB-EN-H2-2-2020

ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	RSM156-6-450M	RSM156-6-455M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	430	435	440	445	450	455
Open Circuit Voltage-Voc(V)	52.38	52.50	52.62	52.72	52.82	52.92
Short Circuit Current-Isc(A)	10.47	10.57	10.67	10.77	10.87	10.97
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	43.60	43.70	43.80	43.90	44.00	44.10
Maximum Power Current-Imp(A)	9.87	9.97	10.06	10.15	10.24	10.32
Module Efficiency (%) *	19.8	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0

 STC: Irradiance 1000 W/m², 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	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	RSM156-6-450M	RSM156-6-455M
Maximum Power-Pmax (Wp)	321.8	325.5	329.3	332.9	336.6	340.3
Open Circuit Voltage-Voc (V)	48.20	48.30	48.41	48.50	48.59	48.69
Short Circuit Current-Isc (A)	8.59	8.67	8.75	8.83	8.91	9.00
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	39.90	40.09	40.18	40.26	40.33	40.41
Maximum Power Current-Imp (A)	8.06	8.12	8.20	8.27	8.35	8.42

 NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline
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 ² (12AWG), Positive(+)350mm, Negative(-)350mm (Connector Included)
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°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(HQ)	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.
 ©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO C — FOLHA DE DADOS INVERSOR WEG 30KW - SIW500H ST030 M1

Inversor String SIW500H - ST030



Inteligente

- 4 MPPTs para adaptação versátil a diferentes layouts
- Monitoramento inteligente de 8 strings e rápido diagnóstico de problemas
- Suporta *Power Line Communication* (PLC)
- Suporta Diagnóstico *Smart String* I-V

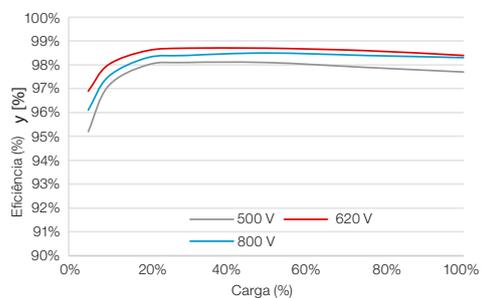
Eficiente

- Eficiência máx. de 98,6%, eficiência europeia de 98,4%

Seguro

- Seccionadora CC integrada, segurança e praticidade para manutenção
- Supressores de surto Tipo II para CC e CA
- Proteção contra falta à terra
- Proteção contra Corrente de Fuga (DR)

Curva de Eficiência



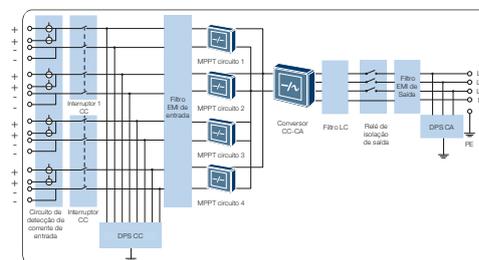
Confiável

- Sem necessidade de ventiladores externos, pois conta com tecnologia de resfriamento natural
- Grau de proteção IP65

Garantia

- Garantia de 5 anos incluso, conforme Termo de Garantias Fotovoltaico WEG.

Diagrama do Circuito



SIW500H - ST030

Inversor String SIW500H - ST030

Especificações técnicas	SIW500H - ST030
Eficiência	
Eficiência máxima	98,6%
Entrada	
Tensão de entrada máxima	1.100 V
Corrente máxima por MPPT	22 A
Faixa de tensão MPPT em máxima potência	480 V ~ 800 V
Número máximo de entradas	8
Número de rastreadores MPPT	4
Saída	
Potência ativa CA nominal	30.000 W
Tensão de saída nominal (FVFF)	220 V (F-N) / 380 V (F-F), 230 V / 400 V, 3F+N+PE
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída máxima (@380 V)	48 A
Fator de potência ajustável	0,8 LG ... 0,8 LD
Distorção harmônica total máxima	<3%
Proteção	
Seccionadora no lado de entrada	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Proteção contra polaridade CC invertida	Sim
Monitoramento de falha de <i>string</i> no arranjo PV	Sim
Supressor de surto CC	Tipo II
Supressor de surto CA	Tipo II
Monitoramento da isolação	Sim
Deteção de corrente de fuga	Sim
Comunicação	
RS485	Sim
USB	Sim
Bluetooth + <i>app</i>	Sim - Opcional
Power Line Communication (PLC)	Sim - Opcional
Geral	
Dimensões (L x A x P)	930 x 550 x 260 mm
Peso	60 kg
Faixa de temperatura de operação	-25 °C ~ 60 °C
Grau de proteção	IP65
Consumo interno noturno	<1,5 W
Topologia	Sem transformador



ANEXO D — FOLHA DE DADOS INVERSOR WEG 75KW - SIW400 ST075

Inversor String Trifásico SIW400

Os inversores da linha SIW400 são ideais para aplicação em projetos de geração distribuída de médio e grande porte, especificamente os de microgeração. Ademais, são dotados de seccionamento CC, possibilidade de instalação ao tempo (IP65) e eficiência de 98,8%.



Especificações técnicas	SIW400 – ST075
	Eficiência
Eficiência máxima	98,80%
	Entrada
Tensão de entrada máxima	1.100 V
Faixa de operação do MPPT	200 V ~ 1.000 V
Tensão de partida	200 V
Corrente de entrada máxima por MPPT	44 A
Corrente de curto-circuito máxima	55 A
Número de MPPTs	4
Número máximo de entradas por MPPT	4
	Saída
Conexão à rede	Trifásica
Potência nominal de saída	75.000 W
Potência aparente máxima	75.000 VA
Tensão de saída nominal	380 V / 415 V
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída máxima	114 A
Fator de potência ajustável	0,8 adiantado ... 0,8 atrasado
Distorção harmônica total máxima	<3%
	Proteção
Proteção anti-ilhamento	Sim
Proteção contra polaridade CC invertida	Sim
Monitoramento da isolação	Sim
Supressor de surto CC	Sim
Supressor de surto CA	Sim
Monitoramento de correntes residuais	Sim
Proteção contra sobrecorrente CA	Sim
Proteção contra curto-circuito CA	Sim
Proteção contra sobretensão CA	Sim
Proteção contra sobretemperatura	Sim
	Dados gerais
Faixa de temperatura de operação	-30 a +60 °C
Umidade relativa de operação	0% RH ~ 100% RH
Altitude de operação	0 - 4.000 m
Resfriamento	Ventilação forçada
Display	Indicadores LED, Wi-Fi+APP
Comunicação	RS485, Wi-Fi, PLC (opcional)
Peso (incluindo suporte de montagem)	70 kg
Dimensão (incluindo suporte de montagem)	586 x 788 x 267 mm
Grau de proteção	IP65
	Conformidade com normas
Normas de conexão à rede	ABNT NBR 16149:2013, AS 4777.2, IEC 61157, UL1741
Segurança	IEC 62109-1, IEC 62109-2
Regulamentação EMC	EN 61000

ANEXO E — FOLHA DE DADOS INVERSOR SUNGROW 60KW - SG60KTL

SUNGROW

SG60KTL

String Inverter



Secured Yield

- Max. efficiency 98.7 %
- Max. DC/AC ratio up to 1.4
- Long-term overload at 1.1 Pn



Intelligent Design

- Integrated string current monitoring function
- Integrated DC fuses and DC/AC surge protection function



Qualified

- TÜV, CE, G59/3, BDEW



© 2017 Sungrow Power Supply Co., Ltd. All rights reserved.
Subject to change without Notice. Version#1.0

Input (DC)

Max. PV input voltage	1000 V
Startup voltage	620 V
MPP voltage range	570 - 950 V
MPP voltage range for nominal power	570 - 850 V
No. of MPPTs	1
Max. number of PV strings per MPPT	14
Max. PV input current	120 A
Max. current for input connector	12 A

Output (AC)

Nominal AC output power	60000 W
Max AC output power (PF=1)	66000 W
Max. AC output apparent power	66000 VA
Max. AC output current	96 A
Nominal AC voltage	3 / N / PE or 3 / PE, 230 / 400 V
AC voltage range	310 - 480 V
Nominal grid frequency	50 Hz / 60 Hz
Grid frequency range	45 - 55 Hz / 55 - 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % In
Power factor	> 0.99 @ default value at nominal power, (adj. 0.8 leading - 0.8 lagging)

Protection & Functions

Anti-islanding protection	Yes
LVRT	Yes
DC reverse connection protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
Leakage current protection	Yes
DC switch	Yes
DC fuse	DC positive fuses
PV string current monitoring	Yes
Overvoltage protection	DC Type II SPD (40 kA) / AC Type III SPD

System Data

Max. efficiency	98.70 %
Euro. efficiency	98.50 %
Isolation method	Transformerless
Ingress protection rating	IP65
Night power consumption	< 1 W
Operating ambient temperature range	-25 to 60 °C (> 50°C derating)
Allowable relative humidity range	0 - 100 %
Cooling method	Smart forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	Graphic LCD
Communication	RS485
DC connection type	MC4, max. 6 mm ² cable
AC connection type	Screw clamp terminal, max. 95 mm ² copper or aluminum cable
Certification	VDE0126-1-1, EN62109-1, EN62109-2, G59/3, VDE-AR-N 4105, BDEW

Mechanical Data

Dimensions (W*H*D)	634*959*267 mm
Mounting method	Wall bracket
Weight	63 kg

Note: this inverter may only be used for industrial applications

Efficiency Curve

