



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Leonardo Pereira de Souza

Relatório de Estágio Integrado
Teccel Energia Solar

Campina Grande - Paraíba - Brasil

Abril de 2021

Leonardo Pereira de Souza

Teccel Energia Solar

Relatório de Estágio Integrado submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Prof. Ronimack Trajano de Souza, D.Sc.
Orientador

Campina Grande - Paraíba - Brasil
Abril de 2021

Leonardo Pereira de Souza

Teccel Energia Solar

Relatório de Estágio Integrado submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovado em 26 de Abril de 2021

Ronimack Trajano de Souza

Orientador

Jalberth Fernandes de Araújo

Convidado

Campina Grande - Paraíba - Brasil

Abril de 2021

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter sempre me abençoado e iluminado em toda a minha caminhada de vida e principalmente durante o curso de engenharia elétrica.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais Antonio e Edilene, que sempre me deram muito apoio em minhas decisões e que sacrificaram muitas coisas para que eu conseguisse chegar onde cheguei. Agradeço também aos meus irmãos Rodolpho, Regina e Letícia que também sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

Agradeço aos meus familiares, em especial a minha avó, Lourdes, que sempre torceu e se preocupou comigo, e aos meus tios Gilberto, Lúcia, Toinho, Dáda e ao meu padrinho Júnior que sempre se colocaram à disposição para ajudar no que fosse necessário, só tenho a agradecer a todos.

Agradeço aos meus amigos, em especial aos mais próximos dos quais cito Anderson e Renan que convivi alguns anos e contribuíram muito para o meu crescimento pessoal e profissional. Além deles, cito Goldofredo, Walter, Vandilson, Andhré, Ítalo, Aristosto, Erika, Eduarda, Samara, Joyce e vários outros que convivi durante a graduação. Aprendi muito com todos, só tenho a agradecer.

Agradeço a todos os professores que de alguma forma contribuíram para minha formação e em especial ao professor Ronimack por aceitar o convite de orientação desse trabalho, assim como agradeço também à instituição UFCG.

Resumo

Esse relatório apresenta as principais atividades desenvolvidas por Leonardo Pereira de Souza durante o estágio integrado realizado na empresa Teccel Energia Solar, localizada na Rua Projetada, S/N, no Distrito Industrial na cidade de Cajazeiras no estado da Paraíba, com vigência no período de 05 de outubro de 2020 a 31 de março de 2021. As atividades desenvolvidas no estágio estão relacionadas a sistemas de energia solar fotovoltaica conectados à rede e manutenção de inversores. Nesse sentido, foram realizadas atividades que envolvem desde o projeto dos sistemas de energia solar até sua execução, realizando também, o monitoramento remoto desses sistemas por meio de plataformas específicas de monitoramento. Além disso, foram realizadas atividades de manutenção de inversores da KSTAR em conjunto com o responsável técnico da garantia dos inversores.

Palavras-Chaves: Estágio Integrado, Sistema de Energia Solar Fotovoltaica, Projeto de Energia Solar Fotovoltaica, Monitoramento de Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica e Inversores.

Abstract

This report presents the main activities developed by Leonardo Pereira de Souza during the integrated internship carried out at Teccel Energia Solar, located at Rua Projetada, S / N, in the Industrial District in the city of Cajazeiras in the state of Paraíba, effective in the period of 05 from October 2020 to March 31, 2021. The activities developed in the internship are related to solar photovoltaic energy systems connected to the grid and maintenance of inverters. In this sense, activities were carried out that involve everything from the design of solar energy systems to their execution, also carrying out the remote monitoring of these systems through specific monitoring platforms. In addition, KSTAR inverter maintenance activities were carried out in conjunction with the inverter warranty technician.

Keywords: Integrated Stage, Solar Photovoltaic Energy System, Solar Photovoltaic Energy Project, Monitoring of Solar Photovoltaic Energy Systems and Inverters.

Lista de Figuras

1.1	Registro fotográfico da entrada da Teccel.	3
1.2	Registro fotográfico do estacionamento dos carros das equipes de campo.	3
2.1	Componentes do sistema de energia solar fotovoltaico on-grid.	7
2.2	Placa solar localizada no hemisfério sul orientada para o norte.	9
2.3	Associação de cargas em série.	10
2.4	Associação de cargas em paralelo.	10
2.5	Mapa de irradiação diária média no plano inclinado na latitude no período de um ano.	12
2.6	Mapa de irradiação diária média no plano inclinado na latitude para os doze meses do ano.	13
2.7	Ilustração de placa de advertência (padrão Energisa).	20
2.8	Componentes da estrutura básica de um sistema de energia solar.	22
2.9	Principais componentes do inversor solar.	22
3.1	Histograma de consumo total mensal da Cerâmica Irmãos Rolim convertido para o horário fora ponta.	28
3.2	Histograma de geração mensal estimada da usina solar de solo.	31
3.3	Disposição dos painéis fotovoltaicos por inversor solar.	35
3.4	Registro fotográfico das estruturas de fixação dos painéis fotovoltaicos.	37
3.5	Registro fotográfico da caixa de passagem em alvenaria na usina solar de solo.	38
3.6	Registro fotográfico dos painéis fotovoltaicos fixados nas estruturas de alumínio.	38
3.7	Registro fotográfico do abrigo dos inversores.	39

3.8	Registro fotográfico dos inversores de 75 kW e 20 kW em pleno funcionamento.	40
3.9	Registro fotográfico do quadro de junção da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.	41
3.10	Registro fotográfico do ponto de conexão dos cabos de saída da usina solar em direção à rede de distribuição de energia elétrica da Energisa.	42
3.11	Registro fotográfico do ponto de conexão dos cabos de chegada provenientes da usina solar no ponto de conexão à rede de distribuição da Energisa.	43
3.12	Registro fotográfico do serviço de conexão da rede elétrica realizado pela equipe da Teccel Energia Solar.	44
3.13	Registro fotográfico do padrão de medição de energia elétrica da Cerâmica Irmãos Rolim.	45
3.14	Registro fotográfico do inversor de 60 kW fechado danificado totalmente.	46
3.15	Registro fotográfico do inversor de 60 kW aberto danificado totalmente.	47
3.16	Registro fotográfico de capacitores do inversor de 60 kW estourados.	48
3.17	Registro fotográfico da vista frontal da placa queimada.	49
3.18	Registro fotográfico da vista posterior da placa queimada.	49
3.19	Registro fotográfico da base da placa queimada no inversor.	50
3.20	Registro fotográfico da placa sem defeito do inversor.	51
3.21	Registro fotográfico da falha F26 no inversor da KSTAR.	52
3.22	Registro fotográfico da vista frontal da placa com defeito.	53
3.23	Registro fotográfico da vista posterior da placa com defeito.	53
3.24	Histograma de consumo de um sistema de energia solar de grande porte.	55
3.25	Histograma de geração do mês de Janeiro da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.	56
3.26	Histograma de geração do mês de Fevereiro da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.	57
3.27	Histograma de geração do mês de Março da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.	57
3.28	Histograma de geração estimada e real da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.	58

Lista de Tabelas

3.1	Consumo da usina Cerâmica Irmãos Rolim nos doze meses anteriores a realização do projeto.	26
3.2	Consumo mensal total da Cerâmica Irmãos Rolim convertido para o horário fora ponta nos doze meses anteriores a realização do projeto. . .	28
3.3	Irradiação solar diária média apresentado pelo CRESESB na localidade da Cerâmica Irmãos Rolim.	29
3.4	Geração estimada para a usina solar de solo da da Cerâmica Irmãos Rolim.	30
3.5	Características elétricas dos módulos fotovoltaicos monocristalinos AS-6M-HC.	32

Lista de Abreviatura e Siglas

ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
ART	<i>Anotação de Responsabilidade Técnica</i>
CA	<i>Corrente Alternada</i>
CC	<i>Corrente Contínua</i>
CRESESB	<i>Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito</i>
Hz	<i>Hertz</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
km	<i>Quilômetro</i>
kV	<i>Quilovolt</i>
kW	<i>Quilowatt</i>
kWh	<i>Quilowatt-hora</i>
kWp	<i>Quilowatt-pico</i>
m	<i>Metro</i>
mm ²	<i>Milímetro Quadrado</i>
MW	<i>Megawatt</i>
NDU	<i>Norma de Distribuição Unificada</i>
NTD	<i>Norma Técnica de Distribuição</i>
THD	<i>Taxa de Distorção Harmônica</i>
UFMG	<i>Universidade Federal de Campina Grande</i>

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Local do estágio	2
1.3	Estrutura do trabalho	3
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	Introdução	5
2.2	Energia Solar Fotovoltaica	6
2.2.1	Sistemas de Energia Solar	6
2.2.2	Inclinação dos Painéis Fotovoltaicos	8
2.2.3	Associação dos Painéis Fotovoltaicos	9
2.2.4	Irradiação Solar	11
2.3	Fundamentação Normativa	14
2.3.1	Energisa	17
2.3.1.1	Requisitos Técnicos para a Conexão do Sistema	18
2.3.1.2	Projeto Elétrico de Sistemas de Geração Distribuída	19
2.3.1.3	Sistema de Medição	20
2.4	Inversor Fotovoltaico KSTAR	21
3	Atividades Desenvolvidas	24
3.1	Introdução	24
3.2	Projeto da Usina de Solo da Cerâmica Irmãos Rolim	25
3.2.1	Histórico Anual de Consumo da Usina	25
3.2.2	Dimensionamento do Sistema de Energia Solar	29
3.2.3	Painéis Fotovoltaicos	31

3.2.4	Dimensionamento dos Inversores	32
3.2.5	Dimensionamento dos Condutores e da Proteção Geral	35
3.3	Execução do Projeto da Usina Solar de Solo da Cerâmica Irmãos Rolim	36
3.3.1	Geração de Energia Elétrica	37
3.3.2	Conversão de Energia Elétrica	39
3.3.3	Conexão da Usina Solar de Solo à Rede de Distribuição da Energisa	42
3.4	Teste e Manutenção de Inversores da KSTAR	45
3.4.1	Inversor Danificado Totalmente	46
3.4.2	Inversor com Placa Queimada	48
3.4.3	Inversor com Erro não Previsto no Manual de Instalação e Operação dos Inversores da KSTAR	51
3.5	Monitoramento dos Sistemas de Energia Solar	54
3.5.1	Solar Z	54
3.5.2	Monitoramento da Usina Solar da Cerâmica Irmãos Rolim	56
4	Conclusão	59
A	Sinalização de Falha Via Display LCD	61
B	Soluções das Sinalizações de Falha Via Display LCD	63
	Referências Bibliográficas	66

Capítulo 1

Introdução

O presente relatório apresenta as atividades desenvolvidas por Leonardo Pereira de Souza durante o Estágio Curricular Integrado. O estágio é requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

O estágio foi realizado na empresa Teccel Energia Solar, localizada na cidade de Cajazeiras na Paraíba, sob supervisão do engenheiro eletricitista Mike de Albuquerque Rocha, pertencente ao quadro de engenheiros da empresa. O estágio teve uma duração de seis meses, com vigência de 05 de outubro de 2020 a 31 de março de 2021, totalizando uma carga horária de 762 horas.

O estágio consistiu no desenvolvimento de atividades relacionadas a energia solar. Com essas atividades se estendendo desde o estudo da normatização geral dos sistemas de energia solar conectados à rede da concessionária de energia elétrica até o acompanhamento das equipes de campo na instalação de usinas solares de solo, além da realização de atividades de manutenção de inversores.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do estágio é a realização de atividades técnicas relacionadas a energia solar respeitando as normas gerais da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e das concessionárias de energia elétrica. Atividades essas que possibilitam a vivência de situações típicas dos engenheiros eletricitistas, além de desenvolver no estagiário habilidades relacionadas a trabalho em equipe, planejamento, cumprimento

de prazos, administração e liderança.

Os objetivos específicos do estágio são:

- Realizar projetos de energia solar conectados à rede de distribuição de energia elétrica;
- Acompanhar as equipes em campo na execução dos projetos de energia solar conectados à rede de distribuição de energia elétrica, auxiliando no que for necessário para o efetivo desenvolvimento das atividades a serem realizadas;
- Acompanhar a realização de manutenção de garantia dos inversores de energia solar de fabricação KSTAR;
- Realizar o monitoramento dos sistemas de energia solar já instalados.

1.2 Local do estágio

O estágio foi realizado na Teccel Energia Solar, uma das empresas do Grupo Teccel. Esse grupo é dividido nas empresas Teccel Energia Solar e Teccel Tecnologia da Construção Civil e Elétrica (Teccel Engenharia), com a Teccel Energia Solar atuando na área de energia solar fotovoltaica e a Teccel Engenharia atuando no setor de distribuição de energia elétrica e no setor da construção civil.

A Teccel está localizada na cidade de Cajazeiras no estado da Paraíba, com endereço na Rua Projetada, S/N, Distrito Industrial. Ela foi fundada em abril de 2001, estando no mercado de energia elétrica a 19 anos e possuindo usinas solar em operação nos estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, além de possuir estrutura técnica e operacional disponível para executar grandes obras.

A figura [1.1](#) apresenta a entrada principal que dá acesso a Teccel e possibilita a entrada de clientes e dos funcionários da empresa.

A figura [1.2](#) apresenta o estacionamento dos carros das equipes de campo dentro da empresa Teccel.

Figura 1.1 – Registro fotográfico da entrada da Teccel.



Fonte: Próprio autor.

Figura 1.2 – Registro fotográfico do estacionamento dos carros das equipes de campo.



Fonte: Próprio autor.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi dividido em 4 capítulos. O capítulo 1 é introdutório e o contextualiza, define os objetivos do estágio, descreve o ambiente em que foi realizado o estágio e apresenta a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta alguns conceitos que dão suporte ao trabalho, apresentando uma breve fundamentação dos sistemas de energia solar, normas que são utilizadas na área da engenharia elétrica e apresentando uma breve fundamentação dos inversores

da KSTAR.

O capítulo 3 é destinado a apresentar as principais atividades desenvolvidas no estágio, tais como o projeto e a instalação de uma usina solar fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia elétrica, teste e manutenção dos inversores da KSTAR e monitoramento dos sistemas de energia solar.

O capítulo 4 apresenta as conclusões do trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução

Nesse capítulo, é apresentado uma breve base teórica para auxiliar no entendimento do capítulo que estão descritas as atividades desenvolvidas no estágio. A fundamentação foi dividida em três tópicos: energia solar fotovoltaica, fundamentação normativa e inversor fotovoltaico KSTAR.

Inicialmente, é apresentado uma introdução aos sistemas de energia solar fotovoltaica, sendo descrito a estrutura desses tipos de sistemas juntamente com os principais equipamentos utilizados. Além disso, é apresentado uma breve fundamentação teórica para a realização de projetos de energia solar.

No segundo tópico, é apresentada a fundamentação que as normas vigentes trazem a esses tipos de sistema, apontando principalmente a regulamentação geral trazida na resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Como norma específica, foi tomada como base a Norma Técnica de Distribuição 013 (NTD – 013) do grupo Energisa, norma essa que é aplicada na da maioria dos projetos que são desenvolvidos pela Teccel Energia Solar.

Por último, é apresentado a fundamentação técnica que foi utilizada no teste e na manutenção dos inversores. O inversor com a maior incidência de testes e o único que foi realizado manutenções foi o KSTAR. Dessa forma, é exposto os principais itens trazidos nos manuais da KSTAR e utilizados nos testes e manutenções desses equipamentos.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

A busca por energia pela sociedade humana sempre foi um dos critérios para a sua sobrevivência. Além disso, nas últimas décadas existe uma maior preocupação em conseguir produzir energia com o mínimo de impacto possível ao meio ambiente. Nesse sentido, as fontes de energia renováveis, em especial a energia solar fotovoltaica, vêm ganhando cada vez mais espaço na matriz energética brasileira e no mundo, com a energia solar já sendo bastante difundida em países da Europa e na China.

A energia solar fotovoltaica é obtida a partir da conversão direta da luz solar em energia elétrica. Segundo (BRUESOL, 2021), a quantidade de energia solar que chega na face da terra é maior do que toda a necessidade humana por energia. Uma das maneiras de se utilizar o potencial de energia gerado pelo sol é através da energia solar. Segundo (BRUESOL, 2021), dentre as vantagens da utilização da energia solar estão:

- A matéria-prima é inesgotável;
- Não há emissão de poluentes durante a geração da eletricidade;
- Os sistemas podem ser instalados em todo o globo.

Ainda segundo (BRUESOL, 2021), dentre as desvantagens relacionadas a utilização de energia solar fotovoltaica, podem ser citadas:

- A densidade de fluxo de energia que chega na superfície da terra é baixa, se comparado com as fontes fósseis;
- A energia solar disponível em uma localidade varia sazonalmente, além de ser afetada pelas condições climatológicas;
- Os equipamentos de captação e conversão requerem investimentos financeiros iniciais mais elevados que os sistemas convencionais.

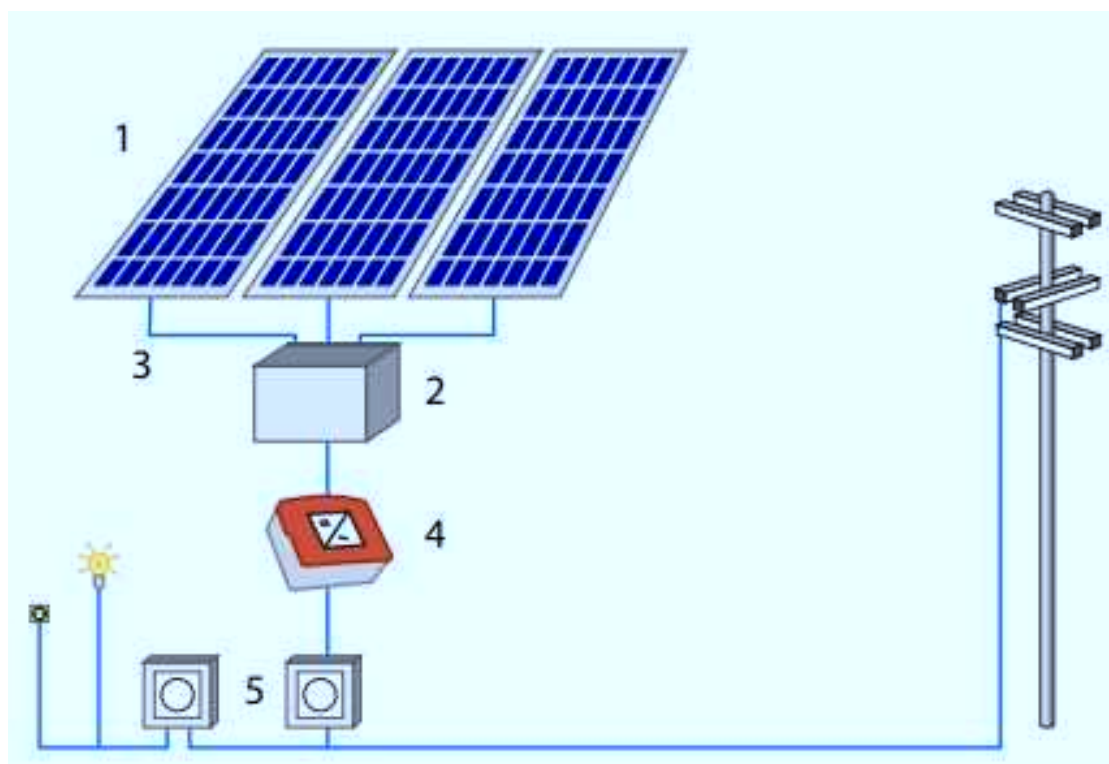
2.2.1 Sistemas de Energia Solar

Os sistemas de energia solar podem ser classificados basicamente em dois tipos: sistemas de energia solar isolados (off-grid) e sistemas de energia solar conectados à rede (on-grid). Os sistemas off-grid não fazem uso da rede da concessionária de energia elétrica, já os on-grid, necessitam de uma conexão com a rede de energia, e por consequência, se faz necessária uma regulamentação específica no setor que é apresentada na seção 2.2 deste trabalho.

Os sistemas de energia solar conectados à rede estão mais difundidos no Brasil por não necessitarem da utilização de meios de armazenamento de energia elétrica. Esses sistemas geram energia elétrica na mesma frequência, fase e amplitude da rede da concessionária de energia. Nesse caso, como o consumidor gera parte da energia consumida e devido a sazonalidade da geração, a geração do sistema do consumidor pode superar a necessidade de energia das instalações elétricas; que, nessa situação, o excedente de energia gerado é transferido para a rede da concessionária. Assim, por utilizar a rede da concessionária energia elétrica, quando necessário, é pago um custo de disponibilidade do sistema que depende da demanda da carga instalada.

A estrutura de um sistema de energia solar on-grid é apresentada na figura [2.1](#), possuindo como componentes principais as estruturas de geração fotovoltaica, de condução de energia, de medição e de inversores, além da necessidade de conexão com a rede de energia elétrica da concessionária de energia.

Figura 2.1 – Componentes do sistema de energia solar fotovoltaico on-grid.



Fonte: Adaptado de [BRUESOL, 2021](#).

- 1: painéis fotovoltaicos;
- 2: caixa de junção do painel fotovoltaico;
- 3: cabeamento;

- 4: inversor solar;
- 5: medidor de energia elétrica.

A geração dos painéis fotovoltaicos é em corrente contínua (CC), com o inversor solar desempenhando o papel de converter a energia CC proveniente das placas fotovoltaicas em corrente alternada (CA) compatível com a rede de distribuição de energia elétrica. Dessa forma, se torna possível a injeção de potência elétrica na rede de distribuição de energia ou o fornecimento de potência para a carga.

O medidor de energia elétrica necessariamente deve ser do tipo bidirecional, que mede a potência elétrica que entra ou que sai do sistema de geração e da carga. O excesso de geração do sistema solar é contabilizado como uma espécie de crédito de energia elétrica que pode ser utilizado posteriormente, com a energia absorvida da rede de distribuição pela carga sendo contabilizado como consumo.

O projeto de sistemas de energia solar consiste justamente no dimensionamento dos componentes que formam esse tipo de sistema, com a quantidade de painéis a serem utilizados dependendo da irradiação solar na localidade de construção do sistema e da potência a ser gerada pelo mesmo. O dimensionamento dos demais componentes dependem da geração dos painéis fotovoltaicos e do tipo de ligação com a rede da concessionária de energia, com todos os equipamentos devendo estar em conformidade com os seus limites de operação.

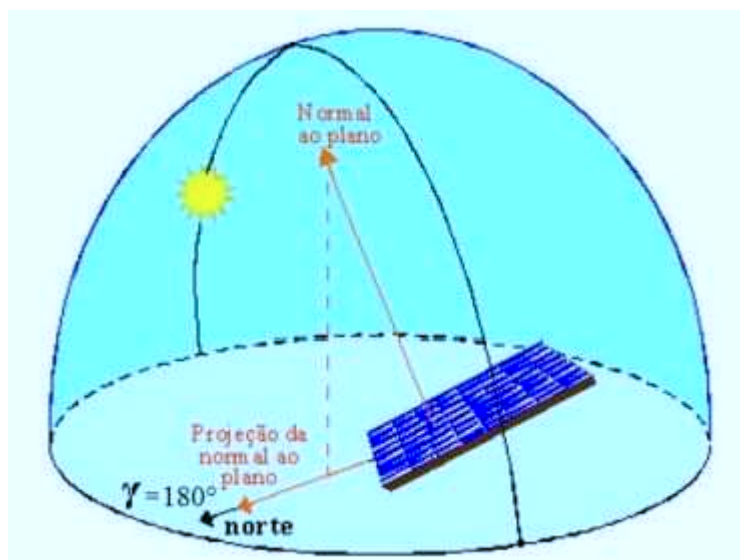
2.2.2 Inclinação dos Painéis Fotovoltaicos

Dependendo da localização da instalação do sistema fotovoltaico, considerando sistemas de orientação fixa, é necessário orientar as placas fotovoltaicas de forma a ter geração máxima. A geração dos módulos fotovoltaicos é máxima quando a irradiação solar média normal ao plano da placa for máxima. Nesse sentido, considerando o movimento periódico solar, a inclinação ideal das placas fotovoltaicas pode variar a depender da latitude do local do sistema.

De acordo com Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), para se ter uma operação adequada e eficiente, os módulos fotovoltaicos devem estar direcionados para linha do equador, ou seja, os sistemas localizados abaixo dessa linha devem estar com suas placas orientadas para a direção norte, e para sistemas

acima da linha do equador, é necessário inclinar as placas para a direção sul. Porém, para adotar essa regra, é necessário que o clima não varie muito durante um dia típico e que a radiação solar média se mantenha uniforme no período da manhã e da tarde. A figura 2.2 apresenta uma ilustração de um módulo fotovoltaico localizado no hemisfério sul orientado para o norte.

Figura 2.2 – Placa solar localizada no hemisfério sul orientada para o norte.



Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2014).

Para a geração de energia elétrica ser máxima, a inclinação das placas fotovoltaicas devem ser iguais a latitude do local da instalação do sistema. Porém, pequenas variações nessa inclinação não impacta tanto na geração anual do sistema, com ela podendo está dentro de 10 graus em torno da latitude local, de acordo com o (CRESESB, 2014).

Ainda de acordo o (CRESESB, 2014), para locais próximos do equador com latitudes entre -10 e 10 graus, se aconselha uma inclinação mínima de 10 graus para favorecer a autolimpeza das placas pela chuva e reduzir a sujeira sobre elas. Além disso, o sistema de energia solar pode ter sua eficiência aumentada por meio da utilização de sistemas de rastreamento do movimento aparente do sol, isso proporcionará uma maior captação da irradiação solar e consequentemente uma maior geração.

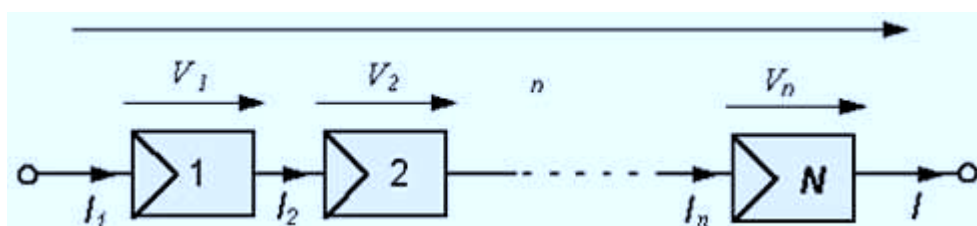
2.2.3 Associação dos Painéis Fotovoltaicos

A associação de painéis fotovoltaicos é realizada para se obter maiores níveis de tensão ou de corrente contínua nos sistemas fotovoltaicos. Os níveis de tensão, corrente

e potência das entradas dos inversores, em regra, são superiores aos níveis gerados por esses painéis. Dessa forma, a associação dos painéis fotovoltaicos é necessária para se chegar no mínimo aos níveis mínimos de energia para a partida do inversor, além de possibilitar a ligação de um número elevado de painéis a um único inversor.

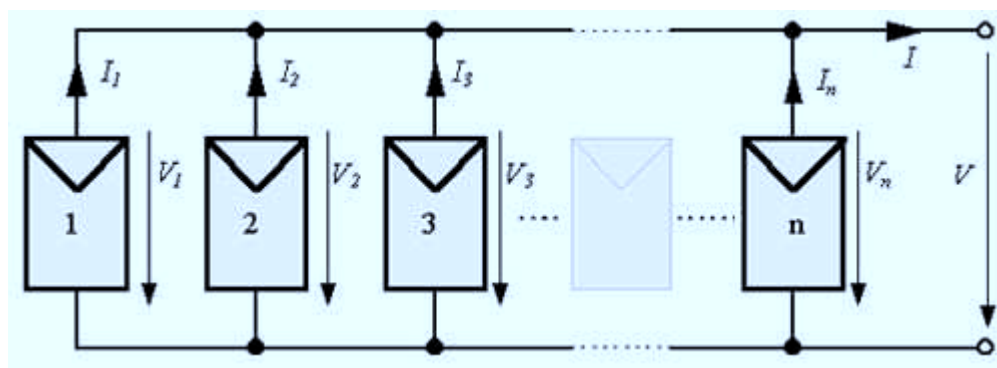
A associação dos painéis segue as regras básicas de circuitos elétricos, em que cargas ligadas em série somam-se as tensões com a corrente se mantendo a mesma, e cargas ligadas em paralelo somam-se as correntes com a tensão se mantendo a mesma, considerando que as cargas possuem níveis de corrente e tensão iguais. As figuras 2.3 e 2.4 apresentam os modelos de associação de cargas em série e em paralelo, respectivamente.

Figura 2.3 – Associação de cargas em série.



Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2021).

Figura 2.4 – Associação de cargas em paralelo.



Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2021).

Dessa forma, considerando um grupo de painéis fotovoltaicos com as mesmas especificações de corrente e tensão, uma fileira com n placas ligadas em série terá como tensão resultante a soma das tensões de todos os painéis que estão em série; e fileiras, com o mesmo número de painéis, ligadas em paralelo, terá como corrente resultante a soma das correntes de todas as fileiras.

2.2.4 Irradiação Solar

No dimensionamento dos sistemas de energia solar, um fator determinante é a análise da irradiação solar no local de instalação do sistema. A irradiação solar incidente na superfície da terra varia de acordo com a localidade, estação do ano, etc, não sendo uma variável com previsão exata. Ela é expressa em kWh/m^2 ou $kWh \cdot dia/m^2$ quando se está trabalhando com irradiação média em um intervalo de dias.

Atualmente, existem vários modelos de fornecimento de estimativas de irradiação solar na superfície da terra, entre esses modelos podem ser citados: o BRASIL-SR, desenvolvido inicialmente na Alemanha e posteriormente aperfeiçoado no Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e o GL também desenvolvido no Brasil pelo INPE, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2017). Existem também vários outros softwares como o Meteonorm (METEONORM, 2021), o SOLARGIS (SOLARGIS, 2021), o NREL (NREL, 2021), o DLR-ISIS (DLR-ISIS, 2021), entre outros. Porém, normalmente esses softwares estão disponíveis apenas comercialmente.

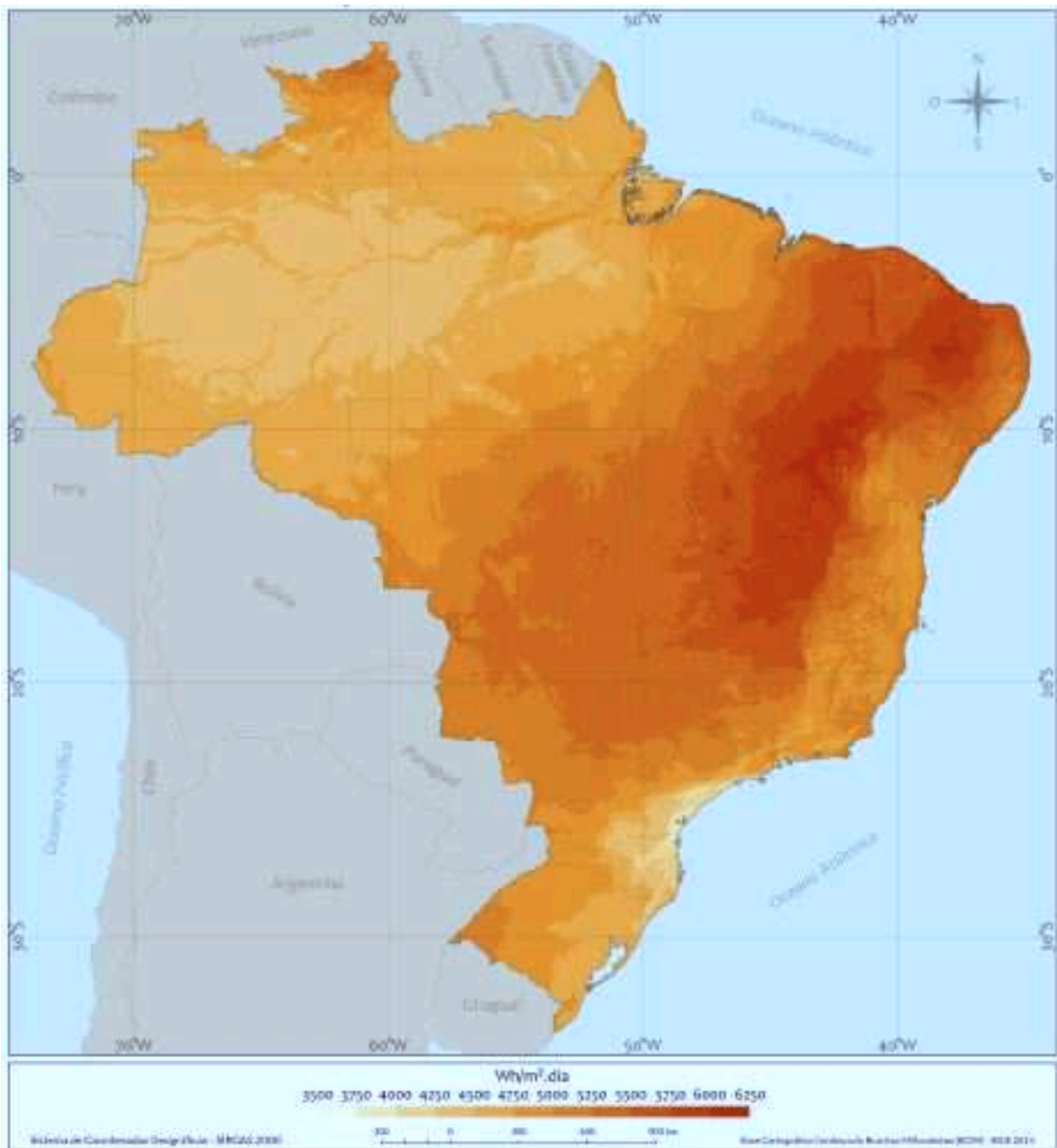
A figura 2.5 apresenta a irradiação diária média no plano inclinado na respectiva latitude no período anual e a figura 2.6 apresenta a irradiação diária média no plano inclinado na respectiva latitude no período mensal, conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2017).

Um programa gratuito destinado a estimativas de irradiação solar média diária em qualquer ponto do território nacional é o SunData. Esse programa constitui uma tentativa do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) de oferecer uma ferramenta de apoio no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

O SunData está atualizado com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2017) que foi produzido pelo INPE, conforme o (CRESESB, 2021). As informações de irradiação média diária nos doze meses do ano podem ser obtidas no SunData a partir do fornecimento direto da latitude e longitude da localidade em análise, sendo uma excelente ferramenta para o desenvolvimento de projetos de energia solar.

Por fim, para se dimensionar um sistema gerador fotovoltaico, de acordo com o (CRESESB, 2014), a potência do sistema microgerador em Wp pode ser dado pela

Figura 2.5 – Mapa de irradiação diária média no plano inclinado na latitude no período de um ano.



Fonte: Adaptado de (INPE, 2017).

equação 2.1.

$$P = \frac{E}{TD \cdot HSP} \quad (2.1)$$

- P (Wp): potência de pico dos painéis fotovoltaicos;
- E (Wh/dia): consumo diário médio anual da edificação ou fração desse;
- TD (Adimensional): taxa de desempenho;
- HSP (h/dia): média diária anual das horas de sol pleno incidente no plano do

Figura 2.6 – Mapa de irradiação diária média no plano inclinado na latitude para os doze meses do ano.



Fonte: Adaptado de (INPE, 2017).

painéis fotovoltaicos.

O HSP é dado em h/dia , refletindo o número de horas que a irradiação solar deve permanecer constante e igual a $1 kW/m^2$, de forma que a energia resultante seja igual a energia disponibilizada pelo Sol no local do sistema. Porém, nas estimativas de geração de energia elétrica é melhor ignorar as variações instantâneas que ocorrem durante o dia e considerar o total de energia gerada em um intervalo de tempo. Dessa forma,

como existe forte linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, esse conceito pode ser estendido, gerando uma forma mais simples de expressar a energia gerada ao longo do dia. Por exemplo, para uma irradiação solar de $6 \text{ kWh}/\text{m}^2$ no dia, se tem exatamente um HSP de $6 \text{ h}/\text{dia}$, conforme apresentado a abaixo.

$$HSP = \frac{6 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]}{1 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]} = 6 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \quad (2.2)$$

- *HSP (h/dia)*: média diária anual das horas de sol pleno incidente no plano do painéis fotovoltaicos.

2.3 Fundamentação Normativa

Em 2012, entrou em vigor a resolução número 482 da ANEEL, dando aos consumidores de energia elétrica a possibilidade de gerar sua própria energia por meio de fontes renováveis de energia e cogeração qualificada. Além disso, ainda deu aos consumidores a possibilidade de fornecer o excedente de energia gerado para a rede de distribuição de energia elétrica para um posterior uso dessa energia.

De acordo com a (ANEEL, 2015b), os estímulos a geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que essa modalidade de geração pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre esses benefícios, pode ser citado o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, o baixo impacto ambiental, a redução do carregamento das redes de distribuição, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

A resolução número 482 (ANEEL, 2012) estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Com os sistemas de microgeração e minigeração distribuída englobando fontes renováveis de energia elétrica e fontes de cogeração qualificada.

Quando a resolução 482 (ANEEL, 2012) entrou em vigor em 17 de abril de 2012, era previsto fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Com a alteração trazida pela resolução normativa número 687 (ANEEL, 2015a) de 24 de novembro de 2015, a nova redação prever fontes renováveis de energia

elétrica ou de cogeração qualificada. Dessa forma, de acordo com a (ANEEL, 2015b), fica permitido o uso de qualquer tipo de fonte renovável, além da cogeração qualificada, não existindo atualmente uma definição objetiva das fontes renováveis de energia elétrica para aplicação da resolução 482.

A cogeração qualificada é regulamentada por meio da resolução normativa número 235 (ANEEL, 2006), que estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogedoras de energia. Com a cogeração correspondendo ao processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária. Já a cogeração qualificada, é o atributo concedido aos cogedores que atendem os requisitos técnicos trazidos na resolução 235, definidos com base em aspectos de racionalidade energética.

Para efeito das condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica, a resolução 482 (ANEEL, 2012) adota algumas definições, são elas:

- Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso

individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;

- Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada.

A resolução 482 proporciona aos consumidores a faculdade de gerar sua própria energia elétrica por meio de fontes renováveis ou de cogeração. O consumidor pode usar a energia gerada para abater o seu consumo de energia elétrica, e quando a geração for maior do que o consumo, o consumidor fica com créditos de energia que podem ser utilizados para diminuir a fatura nos meses seguintes. Além disso, os créditos podem ser utilizados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em localidades diferentes, desde que estejam na área de atendimento de uma mesma concessionária de energia.

Em edificações com múltiplas unidades consumidoras, é possível se ter uma única geração central que compense a energia usada em vários apartamentos diferentes. Ou ainda, a previsão de geração compartilhada trazida na resolução 482 permite que diferentes interessados se juntem em consórcio ou em cooperativa para a instalação de uma central de microgeração ou minigeração distribuída a fim de reduzir ou abater

as faturas de energia dos consorciados ou cooperados. Exigindo para isso, tanto para os consumidores de edificações com múltiplas unidades consumidoras como também na geração compartilhada, que os interessados façam um instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes, segundo a resolução 482 (ANEEL, 2012).

Para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica, é dispensado a assinatura de contratos de uso e de conexão para os participantes do sistema de compensação de energia elétrica nos termos da resolução 482 (ANEEL, 2012), bastando para isso, a emissão pela distribuidora do Relacionamento Operacional para a microgeração e a celebração do Acordo Operativo para a minigeração.

Por fim, o excedente de energia ativa injetado no sistema de distribuição pelos empreendimentos de microgeração e minigeração se torna um crédito de energia ativa que não pode ser revertido em dinheiro, com as unidades consumidoras tendo que consumir os créditos de energia ativa no prazo de 60 meses.

2.3.1 Energisa

A Teccel Energia Solar é uma empresa privada com sede na cidade de Cajazeiras na Paraíba. Embora ela execute sistemas de energia solar em varios estados, a grande maioria dos projetos implementados são no estado da Paraíba. Dessa foma, foi tomado como base a norma específica que regulamenta os sistemas de microgeração e minigeração da Energisa, concessionária de energia elétrica do estado da Paraíba.

A Energisa estabelece os critérios para a conexão de acessantes de microgeração e minigeração as suas redes de distribuição de energia elétrica por meio da Norma Técnica de Distribuição 013 (NTD - 013). Essa norma (ENERGISA, 2016) tem o objetivo de fornecer os requisitos para acesso de geradores de energia elétrica conectados por meio de unidades consumidoras optantes dos Sistemas de Compensação de Energia Elétrica, instituído pela Resolução Normativa número 482/2012 da ANEEL.

A NTD 013 (ENERGISA, 2016) apresenta, inicialmente, algumas definições que são necessárias para o entendimento da norma, entre outras definições trazidas, podem ser apresentadas as seguintes:

- **Acessada:** distribuidora de energia elétrica em cujo sistema elétrico o Acessante conecta suas instalações. Para este documento a acessada é a Energisa Distribuidora S/A;
- **Acessante:** consumidor, central geradora, distribuidora, agente importador ou exportador de energia, cujas instalações se conectem ao sistema elétrico de distribuição, individualmente ou associado a outros. No caso desta norma, o termo Acessante se restringe a consumidores que possuam geração de energia que façam a adesão ao sistema de compensação de energia;
- **Acesso:** disponibilização do sistema elétrico de distribuição da Energisa para conexão de instalações de unidade consumidora, central geradora, distribuidora, ou agente importador ou exportador de energia, individualmente ou associados, mediante o ressarcimento dos custos de uso e, quando aplicável conexão;
- **Baixa tensão de distribuição (BT):** tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1 kV.

2.3.1.1 Requisitos Técnicos para a Conexão do Sistema

De acordo com a NTD 013 (ENERGISA, 2016), com exceção dos sistemas de microgeração e minigeração com conexão por inessor, os demais sistemas devem possuir um elemento de desconexão visível e acessível pela distribuidora. As proteções dos sistemas que possuem investores podem estar inseridas nos próprios equipamentos, sendo desnecessária a redundância de proteções.

A geração não poderá operar ilhada alimentando cargas da concessionária em nenhuma hipótese. Por isso, devem ser tomadas todas as medidas técnicas necessárias para restringir essa possibilidade. Porém, se o gerador estiver operando somente com as cargas de sua unidade consumidora, então ele poderá operar de forma isolada. Na situação de operação em ilha do acessante, a proteção de anti-ilhamento deve garantir a desconexão física entre a rede de distribuição da Energisa e as instalações elétricas internas à unidades consumidora, incluindo a parcela de carga e de geração, sendo vedada a conexão ao sistema da Energisa durante a interrupção do fornecimento da concessionária.

Os tipos de conexão dos sistemas de geração distribuída devem obedecer os seguintes padrões, conforma a NTD 013 (ENERGISA, 2016):

- Acessantes de geração até 75 kW: a conexão poderá ser diretamente em BT;
- Acessantes de geração de 76 kW até 300 kW: a conexão deverá ser trifásica por meio de relés de proteção e transformador exclusivo do acessante;
- Acessantes de geração de 301 kW até 500 kW: a conexão deverá ser trifásica por meio de disjuntor de MT, relés de proteção e transformador exclusivo do acessante na própria unidade consumidora;
- Acessantes de geração de 501 kW acima: a conexão deverá ser trifásica por meio de disjuntor de MT, relés de proteção e transformador exclusivo do acessante na própria unidade consumidora.

2.3.1.2 Projeto Elétrico de Sistemas de Geração Distribuída

De acordo com a NTD 013 (ENERGISA, 2016), a utilização de geração própria está condicionada à apresentação de projeto elétrico, não sendo permitida, em nenhuma hipótese, a energização das instalações sem a análise de conformidade e a devida liberação do projeto pela Energisa, bem como o cumprimento de todas as condições contratuais. O projeto elétrico deve contemplar aspectos técnicos e de segurança, de acordo com os requisitos de qualidade, medição e proteção.

A entrada de serviço deverá ter uma placa de advertência, junto às caixas de medição e proteção, conforme a figura 2.7.

As unidades geradoras de microgeração e conectadas à rede por meio de inversores, com configurações previstas na NTD 013 (ENERGISA, 2016) deverão apresentar os itens mínimos relacionados no ANEXO I ou no ANEXO II da mesma norma, dependendo da potência instalada dos investidores.

Já para os demais tipos de geradores, o projeto elétrico deve ser elaborado de acordo com a NDU 003 (ENERGISA, 2019c), sendo descrito os seguintes itens:

- Memorial descritivo de medição e proteção;
- Esquema unifilar;
- Esquemas funcionais (ou esquema lógico);
- Projeto de implantação;

Figura 2.7 – Ilustração de placa de advertência (padrão Energisa).



Fonte: Adaptado de (ENERGISA, 2016).

- Projeto da entrada de serviço;
- Detalhes da carga instalada;
- ART do responsável técnico do projeto;
- Licença ambiental, nos casos previstos na NTD 013.

Todos esses itens são apenas citados como necessários para a aprovação de projetos de energia solar, sendo descritos de forma detalhada na NDU 003 da Energisa.

2.3.1.3 Sistema de Medição

De acordo com a NTD 013 (ENERGISA, 2016), os equipamentos de medição devem atender as especificações estabelecidas na NDU 001 (ENERGISA, 2019a) e na NDU 003 (ENERGISA, 2019c) para as unidades consumidoras conectadas em nível de tensão igual ao nível de tensão da central geradora. Nas unidades consumidoras de baixa tensão, deve ser empregado um medidor bidirecional com no mínimo dois registradores de forma a diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede. Já para as unidades consumidoras atendidas em média e alta tensão, deve ser utilizado também um medidor de 4 quadrantes.

Para as instalações de baixa tensão com corrente superior a 100 A, a medição deve ser do tipo indireta, por a medição direta bidirecional se tornar inviável. Nessas situações, deve ser utilizado transformadores de corrente para possibilitar a medição indireta, com os transformadores de corrente devendo possuir corrente primária nominal compatível com a corrente de carga e com a corrente de geração para que não se tenha perda de exatidão da corrente transformada quando o fluxo de corrente elétrica estiver baixo.

Por fim, no sistema de medição, deve ser prevista a utilização de uma interface de comunicação conectada à saída serial ou porta ótica do medidor para fins de telemedição. As especificações da interface e tecnologia de medição devem ser definidas em função do tipo do medidor a ser utilizado no sistema de medição.

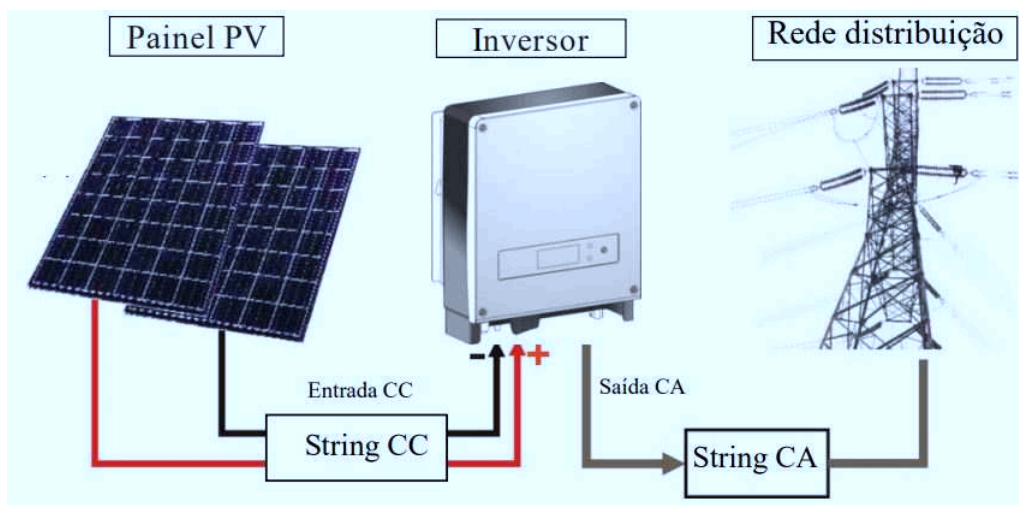
2.4 Inversor Fotovoltaico KSTAR

O inversor fotovoltaico converte a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) na mesma frequência e fase da rede pública (KSTAR, 2017). Permitindo, dessa forma, a conexão e a transferência de potência de sistemas geradores de energia elétrica em corrente contínua às redes de distribuição da concessionária de energia elétrica que operam em corrente alternada em uma dada frequência e fase.

A figura 2.8 ilustra a posição de operação dos inversores solares. O Painel PV recebe a luz solar e produz potência em corrente contínua que é conduzida até o inversor por meio da string CC. O inversor possui o papel de receber a potência em corrente contínua e converter essa potência para corrente alternada na mesma frequência e fase da rede de distribuição de energia elétrica, com essa potência em corrente alternada sendo conduzida para a rede de distribuição por meio da string CA.

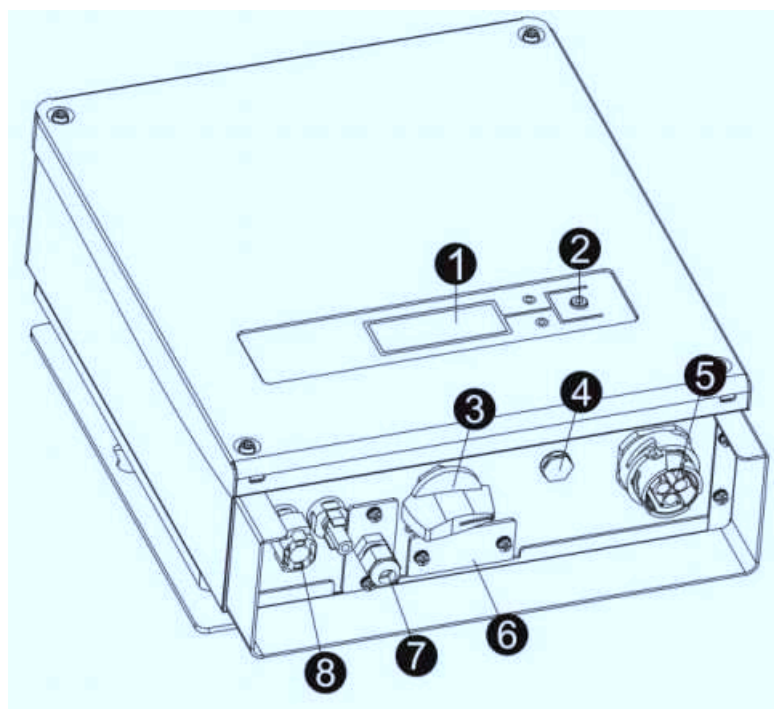
De acordo com o manual de instalação e operação da KSTAR (KSTAR, 2020), o inversor é projetado e produzido conforme as exigências relativas a legislação local, bem como certificados pelo INMETRO. Com as partes componentes do inversor sendo descritas abaixo e podendo ser visualizadas na figura 2.9.

Figura 2.8 – Componentes da estrutura básica de um sistema de energia solar.



Fonte: Adaptado de (KSTAR, 2020).

Figura 2.9 – Principais componentes do inversor solar.



Fonte: Adaptado de (KSTAR, 2020).

- 1: Painel de display LCD: exibe as informações do inversor como: eficiência, potência, tensão CC e CA, etc;
- 2: LED e botão: 2 Leds indicadores de status do inversor e botão utilizado para alternar as informações de display;
- 3: Chave liga/desliga CC;

- 4: Válvula de ar: utilizada para equilibrar a atmosfera interna com a externa;
- 5: Conexão CA de saída: a conexão com a rede de distribuição é feita através desta porta;
- 6: Entrada para RS232: através desta entrada, o usuário poderá comunicar o inversor com seu computador. A mesma é a prova de água;
- 7: Entrada para RS485: para comunicação de um único inversor ou múltiplas comunicações;
- 8: Entrada positivo/negativo PV.

Capítulo 3

Atividades Desenvolvidas

3.1 Introdução

Nesse capítulo, são apresentadas as principais atividades desenvolvidas durante o estágio integrado. As principais atividades consistiram: na realização do projeto de energia solar da usina de solo da Cerâmica Irmãos Rolim, no acompanhamento da execução desse projeto, na manutenção de inversores da KSTAR e no monitoramento dos sistemas de energia solar.

O projeto e execução da usina de solo da Cerâmica Irmãos Rolim foi uma das principais atividades desenvolvidas por envolver um estudo mais aprofundado das modalidades tarifárias e os dois tipos de horários de atendimento, ponta e fora ponta. Estudo esse, que normalmente não é realizado nos projetos de sistemas de energia solar residenciais convencionais por não se trabalhar com demanda contratada.

A manutenção dos inversores da KSTAR consistiu na realização de testes e reparações nesses tipos de equipamento. As manutenções eram feitas em conjunto com o responsável técnico da marca que consistia basicamente na identificação dos defeitos no inversor, por meio de testes, e na solução dos mesmos.

Por fim, o monitoramento dos sistemas de energia solar consiste no acompanhamento remoto da geração desses sistemas, que era realizado tanto por meio das plataformas de monitoramento dos inversores quanto por meio do software solar Z. O solar Z permite a concentração de todas as plataformas de monitoramento em um único software, facilitando o acompanhamento dos sistemas de energia solar à medida que o número de clientes cresce.

3.2 Projeto da Usina de Solo da Cerâmica Irmãos Rolim

Essa seção tem o objetivo de apresentar o procedimento adotado no projeto do sistema de energia solar da usina de solo da Cerâmica Irmãos Rolim. A cerâmica trabalha na produção de tijolos de cerâmica e possui diversos tipos de motores e máquinas elétricas utilizadas no processo de fabricação dos tijolos. A usina está localizada na PB 393, km 17, na zona rural do município de São João do Rio do Peixe. Ela é atendida em média tensão pela concessionária de energia elétrica Energisa, em 13,8 kV, com contrato de fornecimento de energia elétrica na modalidade tarifária verde, grupo A4.

O sistema de energia solar é construído no solo dentro da área da usina cerâmica e próximo ao ponto de entrega da concessionária de energia elétrica. A usina solar necessária para abater o consumo de energia elétrica da usina cerâmica é dimensionada com base no seu histórico de consumo de energia elétrica. Inicialmente, é realizado o levantamento do consumo real de energia elétrica da cerâmica, que em conjunto com o estudo da radiação solar incidente na localidade, torna possível o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, inversores, condutores e proteções que formaram a usina solar.

Nesse projeto, para o dimensionamento do sistema de energia solar, são utilizadas as informações de irradiação solar do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólicas Sérgio de S. Brito (CRESESB), que fornece informações de irradiação solar nas mais diferentes localidades do território brasileiro. O projeto oficial da empresa utilizou softwares específicos na estimativa de irradiação solar, com esse trabalho utilizando os dados do CRESESB.

3.2.1 Histórico Anual de Consumo da Usina

Inicialmente, para dimensionar um sistema de energia solar, é necessário saber o consumo real da carga a ser compensada. O consumo real pode ser estimado com base no consumo dos últimos doze meses, já que ele tende a ser periódico no intervalo anual. Essa estimativa considera que as cargas existentes permaneceram as mesmas e manterão o seu consumo ao longo dos anos, com possíveis aumentos de carga devendo ser considerado como potência extra.

A tabela 3.1 apresenta o consumo real da usina cerâmica que foi levantado com base nas doze faturas de energia elétrica anteriores a realização do projeto. Dessa forma, é necessário que se projete um sistema de energia solar que compense a energia consumida de 361.534 *kWh* no horário fora ponta e de 20.948 *kWh* no horário de ponta no intervalo de um ano. Nesse cálculo, não são considerados possíveis aumentos de carga nos anos posteriores a instalação do sistema de energia solar.

Tabela 3.1 – Consumo da usina Cerâmica Irmãos Rolim nos doze meses anteriores a realização do projeto.

Mês	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Ponta (kWh)
Novembro	27.798	1.722
Dezembro	31.078	2.050
Janeiro	24.272	1.394
Fevereiro	28.946	1.886
Março	26.896	1.558
Abril	31.078	1.804
Maio	32.964	1.968
Junho	29.680	1.760
Julho	29.356	1.804
Agosto	30.750	1.558
Setembro	35.752	1.558
Outubro	32.964	1.886
Média Mensal	30.128	1.746
Média Anual	361.534	20.948

Fonte: Próprio Autor.

De acordo com a resolução normativa 414 (ANEEL, 2010), horário de ponta corresponde ao período composto por três horas diárias consecutivas definidas pela concessionária de energia elétrica considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da paixão, Corpus Christi, e os seguintes feriados: Confraternização Universal (01 de janeiro), Tiradentes (21 de abril), Dia do Trabalho (01 de maio), Independência (07 de setembro), Nossa Senhora Aparecida (12 de outubro), Finados (02 de novembro), Proclamação da República (15 de novembro) e Natal (25 de dezembro). Já o horário fora ponta, corresponde ao período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta. De acordo com a (ANEEL, 2020), o horário de ponta da concessionária Energisa Paraíba está compreendido no intervalo de 17:30 às 20:30 horas.

De acordo com Energisa, a tarifa de energia elétrica sem impostos da modalidade tarifaria verde do grupo A4 corresponde a $0,34161 \text{ R\$/kWh}$ no horário de ponta e $0,20689 \text{ R\$/kWh}$ no horário fora ponta. Dessa forma, a cada 1 kWh gerado no horário fora ponta é abatido $0,20689/0,34161 = 0,605632 \text{ kWh}$ no horário de ponta. Essa relação permite saber quanto que a usina solar deve gerar no horário fora ponta para compensar o consumo da usina cerâmica no horário de ponta e fora ponta.

Portanto, para abater o consumo de energia elétrica da usina cerâmica, é necessário projetar um sistema de energia solar com a seguinte capacidade mínima de geração anual:

$$Ca = 361.534 + 20.948 \cdot \frac{0,34161}{0,20689} = 396.123 \text{ kWh} \quad (3.1)$$

- Ca : capacidade mínima de geração anual da usina solar de solo.

Dessa forma, a usina solar a ser projetada deve possuir uma capacidade de geração mínima anual de 396.123 kWh para abater o consumo de energia elétrica da usina cerâmica, com geração média mensal de 33.010 kWh . Nesse cálculo, é considerado que toda a energia gerada pela usina solar está no horário fora ponta.

De maneira análoga ao cálculo da capacidade de geração mínima anual da usina solar de solo apresentado na equação 3.1, é possível determinar o consumo mensal total da usina cerâmica convertido para o horário fora ponta. A tabela 3.2 apresenta os valores mensais do respectivo consumo que são tomados como base para o dimensionamento do sistema de energia solar a ser construído.

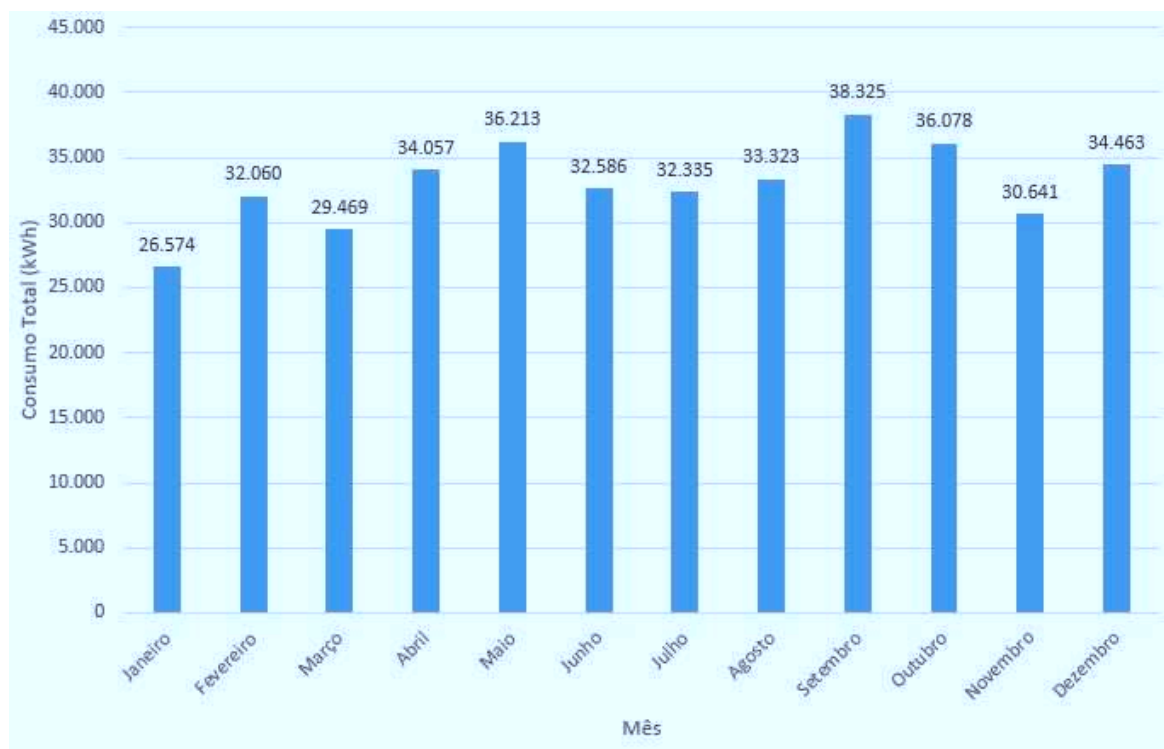
A figura 3.1 apresenta o gráfico do consumo mensal da Cerâmica Irmãos Rolim convertido para o horário fora ponta nos doze meses imediatamente anteriores a construção da usina solar de solo.

Tabela 3.2 – Consumo mensal total da Cerâmica Irmãos Rolim convertido para o horário fora ponta nos doze meses anteriores a realização do projeto.

Mês	Consumo Total (kWh)
Novembro	30.641
Dezembro	34.463
Janeiro	26.574
Fevereiro	32.060
Março	29.469
Abril	34.057
Maió	36.213
Junho	32.586
Julho	32.335
Agosto	33.323
Setembro	38.325
Outubro	36.078
Média Mensal	33.010
Média Anual	396.123

Fonte: Próprio Autor.

Figura 3.1 – Histograma de consumo total mensal da Cerâmica Irmãos Rolim convertido para o horário fora ponta.



Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Dimensionamento do Sistema de Energia Solar

Na estimativa da irradiação solar, foram utilizados os dados do CRESESB a partir das informações de latitude e longitude do local da usina. Dessa forma, foi considerado a localização aproximada da usina na latitude $6,75^\circ$ e longitude $38,46^\circ$ para a determinação da irradiação solar na usina cerâmica. Portanto, a inclinação dos painéis fotovoltaicos deveria ser de $6,75^\circ$ para se ter geração máxima no sistema, porém, para facilitar a autolimpeza dos painéis e dificultar o acúmulo de sujeira nos mesmos, foi considerado uma inclinação de 10° .

A tabela 3.3 apresenta a irradiação solar diária média no local da usina indicados pelo SunData do CRESESB (CRESESB, 2021). Esses dados de irradiação solar são a base para as estimativas de geração mensal da usina solar de solo e conseqüentemente da geração anual do sistema.

Tabela 3.3 – Irradiação solar diária média apresentado pelo CRESESB na localidade da Cerâmica Irmãos Rolim.

Mês	Irradiação Solar ($kWh \cdot dia/m^2$)
Janeiro	5,58
Fevereiro	5,72
Março	5,99
Abril	6,05
Mai	5,71
Junho	5,60
Julho	5,90
Agosto	6,46
Setembro	6,49
Outubro	6,32
Novembro	6,13
Dezembro	6,67
Média	5,97

Fonte: Cresesb (CRESESB, 2021).

Dessa forma, considerando a irradiação solar média da tabela 3.3 e carga média mensal da tabela 3.2, com um rendimento estimado de 79% para o sistema de energia solar e com 30 dias na média de dias por mês, é possível determinar a potência em Wp desse sistema, conforme a equação 3.2.

$$P_m = \frac{33.010}{30 \cdot 5,97 \cdot 0,79} = 233,30 \text{ kWp} \quad (3.2)$$

- P_m : potência mínima do sistema de geração.

Com base nos dados irradiação solar do CRESESB (CRESESB, 2021), um sistema de energia solar de 233,30 kWp supriria o consumo da usina cerâmica. Porém, o sistema dimensionado e vendido pela Teccel Energia Solar foi de 248 kWp. Essa diferença reflete uma pequena diferença nas estimativas da irradiação solar, ou até, na possibilidade de instalação de um sistema maior do que o necessário para suprir aumentos futuros de carga.

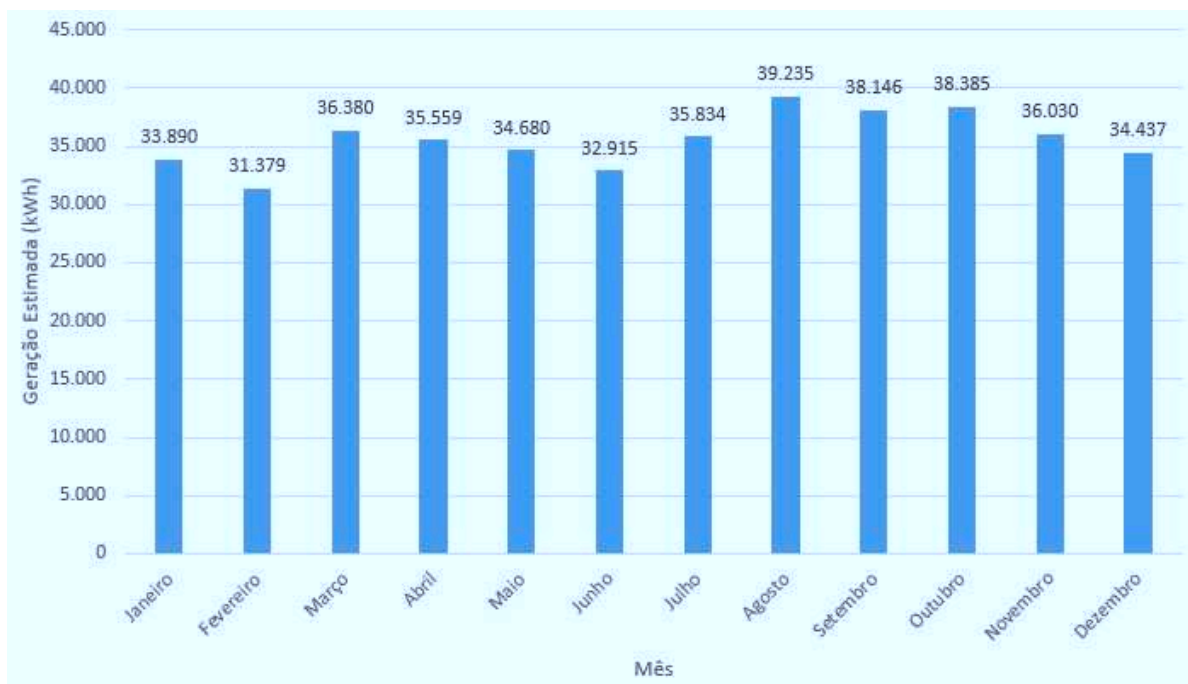
Realizando o processo inverso ao dimensionamento do sistema de energia solar, se pode estimar a geração mensal ao longo do ano. Essa estimativa leva em consideração a potência do sistema a ser instalado, a irradiação solar no local do sistema e o rendimento do sistema. A tabela 3.4 apresenta os valores de geração estimados ao longo do ano, com a estimativa de geração sendo feita a partir da equação 2.1 e considerando um sistema de 248 kWp.

Tabela 3.4 – Geração estimada para a usina solar de solo da da Cerâmica Irmãos Rolim.

Mês	Irradiação Solar ($kWh \cdot dia/m^2$)	Dias no mês	Geração Estimada
Janeiro	5,58	31	33.890
Fevereiro	5,72	28	31.379
Março	5,99	31	36.380
Abril	6,05	30	35.559
Mai	5,71	31	34.680
Junho	5,60	30	32.915
Julho	5,90	31	35.834
Agosto	6,46	31	39.235
Setembro	6,49	30	38.146
Outubro	6,32	31	38.385
Novembro	6,13	30	36.030
Dezembro	6,67	31	34.437
Média	5,97	30	35.572

Fonte: Próprio autor.

A figura 3.2 apresenta o gráfico da geração estimada da usina solar de solo da Cerâmica Irmãos Rolim.

Figura 3.2 – Histograma de geração mensal estimada da usina solar de solo.

Fonte: Próprio autor.

Vale salientar que os projetos de energia solar trabalham com variáveis que podem oscilar bastante, a depender da situação climática anual, não sendo possível previsões exatas de geração dos sistemas fotovoltaicos. Nos projetos realizados pela Teccel Energia Solar, no contrato de compra dos sistemas de energia solar, é previsto uma tolerância de geração de 10% ou 15%, para mais ou para menos, na geração média prevista no sistema de energia solar no período de um ano, com apenas as possíveis variações fora da tolerância prevista sendo de responsabilidade da empresa.

3.2.3 Painéis Fotovoltaicos

A quantidade de painéis fotovoltaicos é calculada com base na potência do sistema a ser instalado e com base no tipo de painel a ser utilizado no sistema. No mercado, existem diversos tipos de painéis fotovoltaicos, cada um com suas especificidades, características e custo.

O painel utilizado na construção da usina solar de solo da Cerâmica Irmãos Rolim é o monocristalino AS-6M-HC da Amerisolar. Esse tipo de painel possui as características elétricas apresentadas na tabela [3.5](#), com uma potência média de geração de 400 W,

aproximadamente.

Tabela 3.5 – Características elétricas dos módulos fotovoltaicos monocristalinos AS-6M-HC.

Máxima potência (W)	380	385	390	395	400	405	410
Tensão de circuito aberto (V)	48,8	49	49,2	49,4	49,6	49,8	50
Corrente de curto-circuito (A)	9,97	10,04	10,11	10,18	10,25	10,32	10,39
Tensão de máxima potência (V)	40,4	40,6	40,8	41	41,2	41,4	41,6
Corrente de máxima potência (A)	9,41	9,49	9,56	9,64	9,71	9,79	9,86
Eficiência do Módulo (%)	18,89	19,14	19,38	19,63	19,88	20,13	20,38

Fonte: Amerisolar (AMERISOLAR, 2019).

Dessa forma, considerando que o sistema de energia solar é de 248 kWp e a potência média de geração dos painéis fotovoltaicos é de 400 W, se calcula o número de painéis necessários para a construção da usina solar de solo. Portanto, o número de painéis é dado pela divisão da potência do sistema de energia solar pela potência média de geração do painel utilizado no sistema, conforme a equação 3.3.

$$N = \frac{248.000}{400} = 620 \text{ paineis} \quad (3.3)$$

- *N*: número de painéis fotovoltaicos da usina solar.

Sendo assim, o sistema de energia solar deve possuir um total de 620 painéis fotovoltaicos da Amerisolar de potência média de 400 W, que devem ser fixados em estrutura própria e conectados a inversores solares conforme os seus limites operacionais.

3.2.4 Dimensionamento dos Inversores

O dimensionamento dos inversores solares é realizado com base na potência total do sistema em kWp. A potência total dos inversores utilizados em kW nas entradas CC deve ser no mínimo igual a potência em kWp do sistema de energia solar para que não haja um sobrecarregamento do equipamento.

Em tese, para um sistema de 248 kWp, poderia ser utilizado um inversor solar de potência de 248 kW nas entradas CC ou maior. Porém, em regra, não existem inversores com grandes potências disponíveis comercialmente, sendo necessário unir inversores de menores potências para totalizar a potência do sistema. Dessa forma, com base nos equipamentos disponíveis no mercado e na potência do sistema, se preferiu utilizar quatro inversores no sistema de energia solar da usina da Cerâmica Irmãos Rolim,

sendo dois de 75 kW e dois de 20 kW, com suas especificações técnicas sendo descritas abaixo.

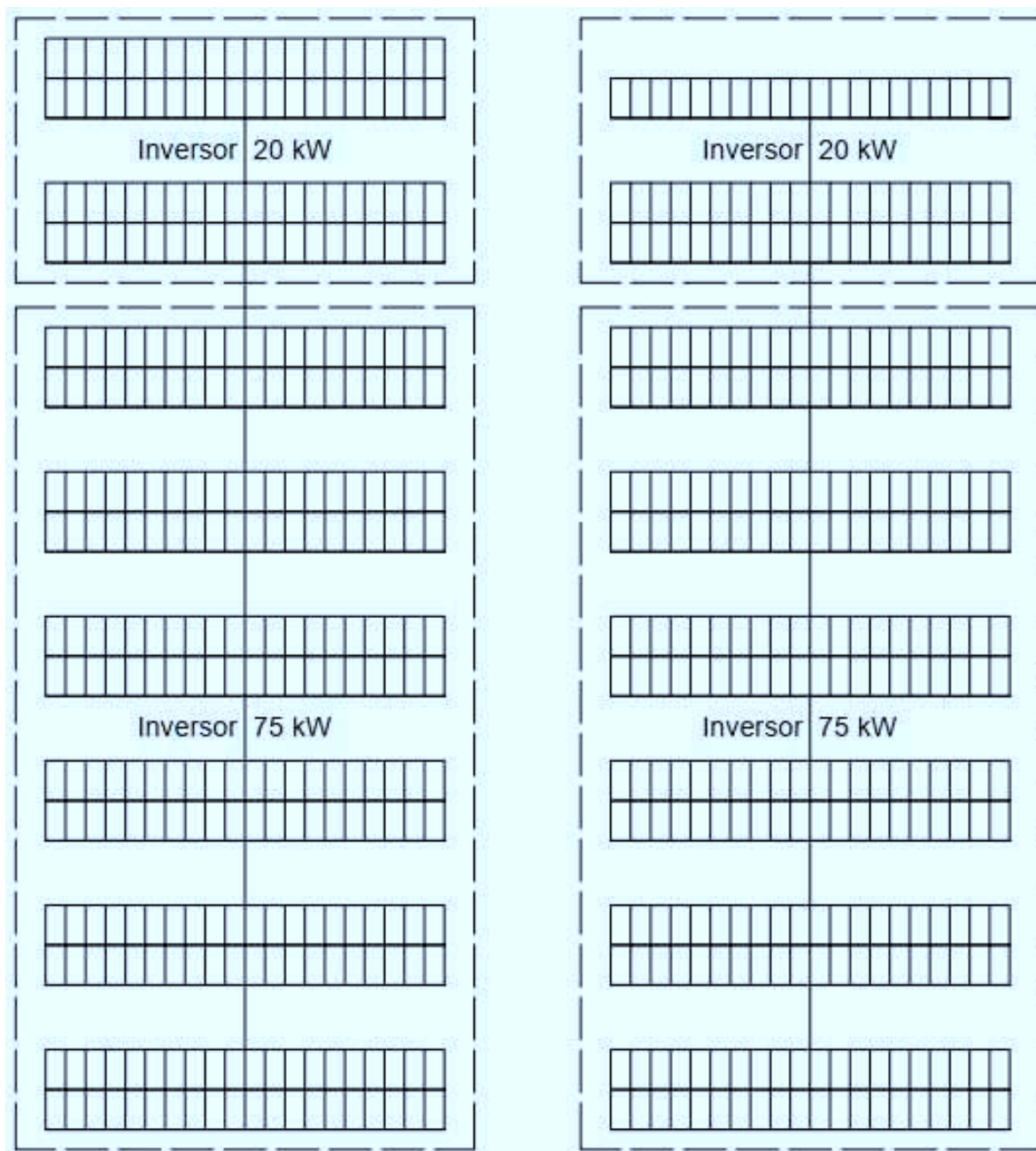
- Inversor de 75 kW - dados de entrada CC (GROWATT, 2021a);
 - Máxima potência: 112,5 kW;
 - Máxima tensão: 1.100 V;
 - Tensão de partida: 250 V;
 - Faixa de tensão da MPPT: 200 V / 1.000 V;
 - Tensão nominal: 600 V;
 - Máxima corrente de entrada por string: 26 A;
 - Número de MPPT independentes: 7;
 - Strings por MPPT: 2.
- Inversor de 75 kW - dados da saída CA (GROWATT, 2021a);
 - Potência nominal de saída: 75 kW;
 - Máxima corrente de saída: 112,7 A;
 - Tensão nominal: 220 V / 380 V;
 - Frequência de rede: 50 Hz / 60 Hz;
 - Fator de potência: 0,8;
 - THD: < 3%.
- Inversor de 20 kW - dados de entrada CC (GROWATT, 2021b);
 - Máxima potência: 30 kW;
 - Máxima tensão: 1.100 V;
 - Tensão de partida: 250 V;
 - Faixa de tensão da MPPT: 200 V / 1.000 V;
 - Tensão nominal: 580 V;
 - Máxima corrente de entrada por string: 25 A;
 - Máxima corrente de entrada: 32 A;
 - Número de MPPT independentes: 2;
 - Strings por MPPT: 2.
- Inversor de 20 kW - dados da saída CA (GROWATT, 2021b).
 - Potência nominal de saída: 20 kW;
 - Máxima corrente de saída: 31,9 A;
 - Tensão nominal: 230 V / 400 V;
 - Frequência de rede: 50 Hz / 60 Hz;
 - Fator de potência: 0,8;
 - THD: < 3%.

Embora a soma das potências nominais dos inversores não corresponda a potência do sistema em Wp , a soma das potências CC de entrada desses equipamentos é maior do que a do sistema gerador. Isso ocorre porque a potência nominal dos inversores é dado pela sua potência de saída e não de entrada. Dessa forma, é possível ligar todos os painéis fotovoltaicos nos inversores de modo a não causar o sobrecarregamento dos equipamentos, desde que corretamente distribuídos, com a ligação dos painéis fotovoltaicos nos inversores devendo satisfazer seus limites de tensão, corrente e potência.

Dessa forma, sabendo que a tensão de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos utilizados é de $50 V$, conforme a tabela 3.5, e que as entradas CC dos inversores de $75 kW$ e $20 kW$ suportam até $1.100 V$, é possível criar strings com 20 painéis em série que totalizará uma tensão máxima de $1.000 V$. Portanto, sabendo que o sistema possui 620 painéis fotovoltaicos, são criadas 31 strings de 20 placas.

De maneira análoga, sabendo que a máxima corrente que os painéis fotovoltaicos podem fornecer é de $10,39 A$, conforme a tabela 3.5, e que as entradas CC dos inversores de $75 kW$ e $20 kW$ suportam até $26 A$ e $25 A$, respectivamente, é possível fazer o paralelo de duas strings diferentes em uma mesma entrada dos inversores. Portanto, os painéis podem ficar distribuídos em 15 grupos de 40 e 1 grupo de 20, sendo necessárias, no total, 16 entradas nos inversores.

Por fim, visto que os inversores de $75 kW$ e de $20 kW$ possuem 7 e 2 entradas CC independentes, respectivamente, e seguindo as divisões adotadas anteriormente, pode ser conectado 240 painéis fotovoltaicos em 6 entradas de cada inversor de $75 kW$, 80 painéis fotovoltaicos em um inversor de $20 kW$ e 60 painéis fotovoltaicos no segundo inversor $20 kW$, totalizando os 620 painéis do sistema. A figura 3.3 apresenta a disposição dos painéis por inversor solar.

Figura 3.3 – Disposição dos painéis fotovoltaicos por inversor solar.

Fonte: Próprio autor.

3.2.5 Dimensionamento dos Condutores e da Proteção Geral

O dimensionamento dos condutores e da proteção geral da usina solar de solo é feito com base na Norma de Distribuição Unificada 002 (NDU 002) da Energisa, norma essa que estabelece o fornecimento de energia elétrica em tensão primária para cargas acima de 75 kW e demanda de até 2.500 kW.

A potência CA de saída da usina geradora será de até 190 kW com base na potência

de saída dos inversores utilizados, tendo uma corrente de até 288 A. Dessa forma, seguindo o que estabelece a NDU 002 (ENERGISA, 2019b), uma subestação de 225 kVA já seria suficiente para a conexão do sistema gerador na rede da concessionária de energia elétrica. Porém, o transformador que atende a Cerâmica Irmãos Rolim é 300 kVA. Desse modo, prevendo a possibilidade de expansão da usina geradora e para que o cabeamento do sistema gerador esteja em conformidade com a subestação já existente, se preferiu seguir os parâmetros estabelecidos na NDU 002 para uma subestação de 300 KVA.

Portanto, com base nos parâmetros estabelecidos na NDU 002 (ENERGISA, 2019b) para uma subestação de 300 kVA, os cabos utilizados devem ser de PVC 0,6/1,0 kV $2 \times \{3 \times 150(95)\} \text{ mm}^2$ e com um disjuntor termomagnético de até 500 A, sendo utilizado um regulável que varia de 350 a 450 A. A utilização de 2 cabos de 150 mm^2 para cada fase ao invés de 2 cabos de 120 mm^2 , como o estabelecido para uma subestação de 225 kVA, tem como principal consequência a redução na queda de tensão existente entre a usina geradora e o ponto de entrega da Energisa, além de não necessitar a troca desses cabos no caso de uma pequena expansão do sistema gerador.

3.3 Execução do Projeto da Usina Solar de Solo da Cerâmica Irmãos Rolim

Nessa seção, é apresentada a construção da usina solar de solo da Cerâmica Irmãos Rolim. A construção é feita pelas equipes de campo especializadas no desenvolvimento de tais atividades, cabendo aos engenheiros e supervisores técnicos o acompanhamento das atividades e a orientação das equipes no trabalho.

A construção da usina solar de solo foi dividida basicamente em três partes: sistema de geração de energia elétrica (representado pelos painéis fotovoltaicos), sistema de conversão de energia elétrica (representado pelos inversores) e conexão da usina geradora à rede de distribuição de energia elétrica da Energisa. Todas essas etapas são desenvolvidas em simultâneo, sendo divididas nesse trabalho apenas para fins didáticos.

3.3.1 Geração de Energia Elétrica

A geração da usina solar de solo é feita em corrente contínua (CC) pelos painéis fotovoltaicos. De acordo com o projeto, deve-se ter um lugar apropriado para a acomodação de 620 painéis fotovoltaicos da Amerisolar com potência média de 400 W, com os painéis sendo fixados em estrutura própria de alumínio e liga de aço fixo no solo.

Inicialmente, no processo de construção de uma usina solar de solo, é preciso fazer a estrutura de fixação dos painéis fotovoltaicos ao solo. Essa estrutura é dimensionada pelo engenheiro mecânico devendo suportar o peso dos painéis e suas variações de peso decorrente dos ventos e da chuva. A figura 3.4 apresenta a estrutura de fixação dos painéis fotovoltaicos, com ela possuindo uma área suficiente para os 620 painéis fotovoltaicos.

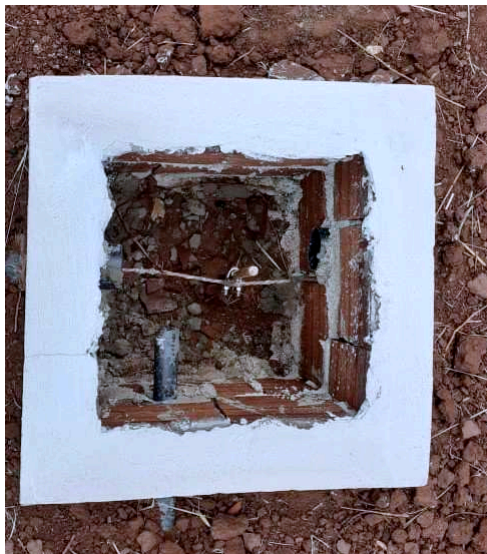
Figura 3.4 – Registro fotográfico das estruturas de fixação dos painéis fotovoltaicos.



Fonte: Próprio autor.

Os condutores que conectam os painéis fotovoltaicos são passados por eletrodutos de PVC subterrâneos. Por questão da distância entre os pontos de ligação, são feitas caixas de passagem em alvenaria com dimensão de 50 cm de largura por 50 cm de comprimento. Essas caixas de passagem servem também para instalar as hastes de aterramento que aterraram toda a estrutura de alumínio de fixação dos painéis fotovoltaicos. A figura 3.5 mostra uma das caixas de passagem da usina de solo, com sua respectiva haste de aterramento no seu interior e com as entradas e saídas dos eletrodutos.

Figura 3.5 – Registro fotográfico da caixa de passagem em alvenaria na usina solar de solo.



Fonte: Próprio autor.

Finalizado a construção das estruturas de fixação dos painéis fotovoltaicos, os painéis são instalados em definitivo obedecendo as ligações em série e paralelo estabelecidas no projeto. Cada divisão dessa estrutura comporta um total de 40 painéis fotovoltaicos, divididos em duas fileiras com 20 painéis. As 40 placas representam exatamente as duas strings que são conectadas em cada entrada CC dos inversores. A figura [3.6](#) apresenta os painéis já fixados na estrutura.

Figura 3.6 – Registro fotográfico dos painéis fotovoltaicos fixados nas estruturas de alumínio.



Fonte: Próprio autor.

No todo, a usina possui 16 divisões de estruturas de fixação dos painéis fotovoltaicos, com duas fileiras com 8 divisões. A última fileira do lado esquerdo possui apenas 20 painéis fotovoltaicos, correspondendo a menor string existente na usina que é ligada em um dos inversores de 20 kW.

3.3.2 Conversão de Energia Elétrica

A conversão de energia CC em CA é feita pelos inversores fotovoltaicos. Eles são dispostos no abrigo dos inversores, construída em alvenaria e utilizada para proteger esses equipamentos do sol e da chuva. No abrigo dos inversores, também está o quadro de junção com proteção geral da usina fotovoltaica, tendo como saída do quadro de junção, o cabeamento que vai direto para a subestação da usina cerâmica.

A figura 3.7 apresenta o abrigo dos inversores, com a entrada da energia CC proveniente dos painéis fotovoltaicos sendo subterrânea e com a saída de energia CA sendo aérea. Na parte superior do abrigo dos inversores, estão os cabos de 150 mm² que possibilitam a saída da energia gerada pela usina solar.

Figura 3.7 – Registro fotográfico do abrigo dos inversores.



Fonte: Próprio autor.

Os inversores de energia solar são fixados na parede de maneira que os seus visores fiquem a uma altura de $1,6\text{ m}$ do piso acabado. Nos inversores de 60 kW , chegam os cabos de 10 mm^2 das 12 strings estabelecidas no projeto e saindo cabos de 70 mm^2 por inversor cuja proteção é de 125 A no quadro de junção. Nos inversores de 20 kW , chegam os cabos de 10 mm^2 das 4 strings estabelecidas no projeto e saindo cabos de 10 mm^2 por inversor cuja proteção é de 40 A no quadro de junção. A figura 3.8 apresenta os inversores utilizados na usina fixados na parede.

Figura 3.8 – Registro fotográfico dos inversores de 75 kW e 20 kW em pleno funcionamento.



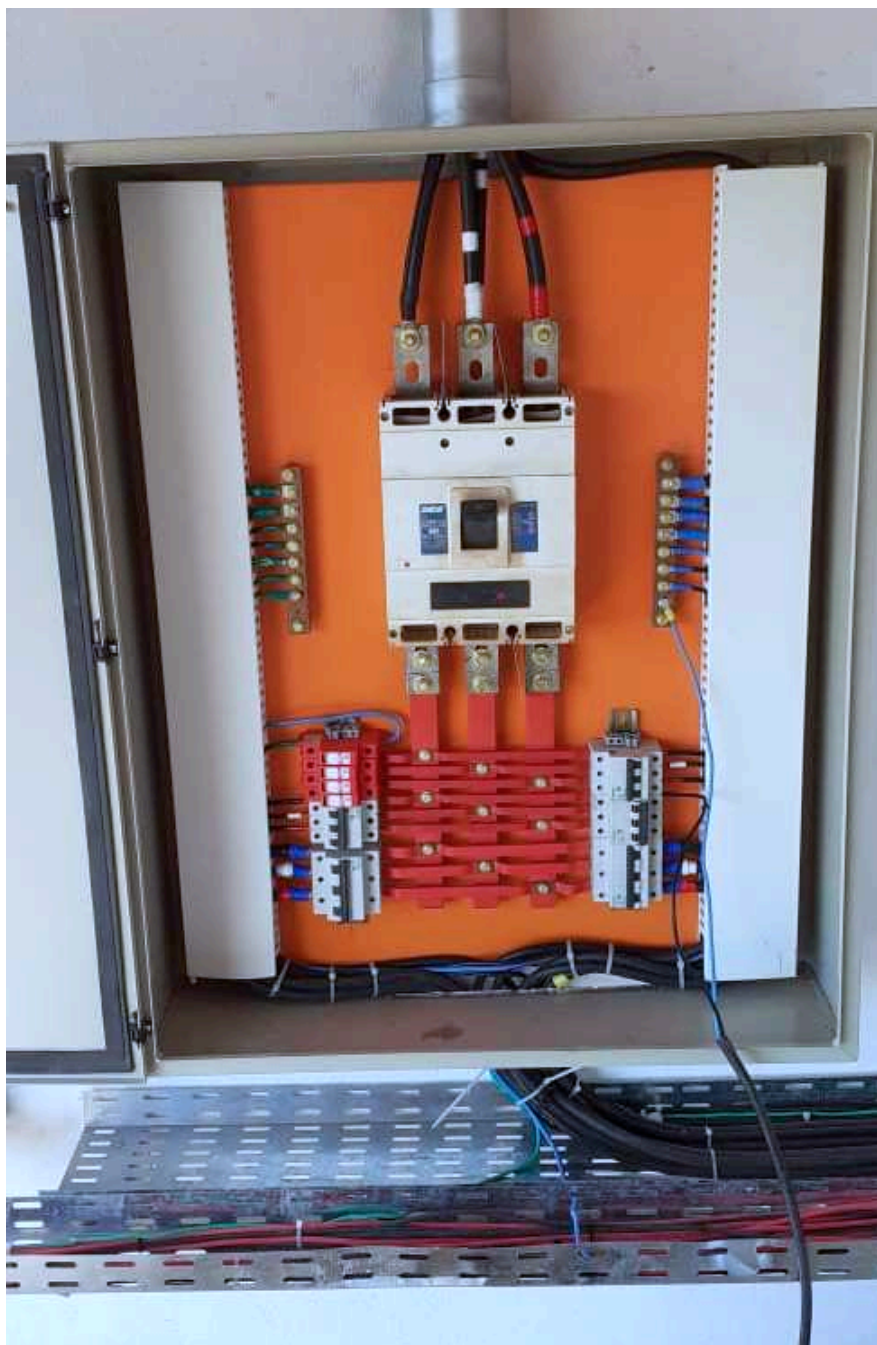
Fonte: Próprio autor.

No quadro de junção, é unificada a saída de energia alternada gerada na usina solar. Esse quadro possui o papel de unir a energia gerada em todos os inversores utilizados no sistema, possibilitando a conexão da geração da usina solar por uma única ligação trifásica alternada. Nesse quadro são dispostas todas as proteções alternadas dos inversores e a proteção geral a usina solar.

A figura 3.9 apresenta o quadro de junção da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim. No quadro, possui os dois disjuntores termomagnéticos de 125 A das proteções dos dois inversores de 75 kW e os dois disjuntores termomagnéticos de 40 A das proteções dos inversores de 20 kW , possuindo ainda um disjuntor reserva de 40 A , os dispositivos de proteção contra surto (DPS) e o disjuntor geral do sistema de energia solar.

No sistema, são necessários 4 DPS diferentes para proteger as 3 fases do sistema e o neutro, com suas saídas sendo ligadas diretamente no aterramento do sistema. Além

Figura 3.9 – Registro fotográfico do quadro de junção da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.



Fonte: Próprio autor.

disso, diferentemente das instalações elétricas residências, o neutro da rede elétrica não pode ser interligado diretamente com o aterramento do sistema, com os dois condutores devendo permanecer separados e sendo conectados apenas se o DPS do neutro atuar. Esse tipo de ligação garante o pleno funcionamento dos inversores, já que eles necessitam de aterramento próprio.

3.3.3 Conexão da Usina Solar de Solo à Rede de Distribuição da Energisa

A saída do quadro de junção deve ser conectada à rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, Energisa. Essa conexão é estabelecida por meio dos cabos de 150 mm² dimensionados do projeto do sistema, cabos esses que conduzem a energia elétrica gerada na usina solar de solo em direção ao ponto de medição de energia elétrica da usina Cerâmica Irmãos Rolim.

A figura 3.10 apresenta os cabos que saem da casa dos inversores em direção ao ponto de conexão com a rede da Energisa. Para possibilitar essa conexão, foi feita toda uma estrutura de postes que possibilitam a passagem aérea dos cabos de 150 mm².

Figura 3.10 – Registro fotográfico do ponto de conexão dos cabos de saída da usina solar em direção à rede de distribuição de energia elétrica da Energisa.



Fonte: Próprio autor.

Na outra extremidade da Cerâmica Irmãos Rolim, está a rede de energia elétrica da Energisa que fornece energia para a cerâmica com sua respectiva medição. O ponto que localiza a medição do consumo de energia elétrica é onde o sistema de energia solar é conectado, para que possibilite a medição da energia elétrica consumida pela usina cerâmica ou para que possibilite a medição da energia elétrica injetada na rede de distribuição da Energisa. A figura 3.11 apresenta a chegada dos dois cabos multiplex de 150 mm² provenientes da usina solar de solo.

Figura 3.11 – Registro fotográfico do ponto de conexão dos cabos de chegada provenientes da usina solar no ponto de conexão à rede de distribuição da Energisa.



Fonte: Próprio autor.

Depois de finalizada a usina solar e passado todos os cabos de conexão, é necessário realizar um desligamento programado para, de fato, conectar a geração da usina solar de solo à rede de distribuição da Energisa. Esse desligamento é programado com a Energisa, devendo um responsável técnico dela desligar a rede de distribuição da concessionária para a realização dos trabalhos e religa-la no final das atividades, com o horário de desligamento e religamento previamente estabelecidos. A figura [3.12](#)

apresenta a conexão da usina solar sendo realizada no dia do desligamento, juntamente com a instalação do medidor bidirecional.

Figura 3.12 – Registro fotográfico do serviço de conexão da rede elétrica realizado pela equipe da Teccel Energia Solar.



Fonte: Próprio autor.

Por fim, finalizadas as atividades do desligamento, se conclui o ciclo de construção

da usina solar de solo da Cerâmica Irmãos Rolim. Com todas as estruturas físicas da usina estando prontas, a Energisa faz o seu cadastro como unidade de consumo com geração própria, sendo possível o abatimento do consumo da Cerâmica Irmãos Rolim a partir da geração da usina solar de solo. A figura 3.13 apresenta a atual medição da usina cerâmica com a placa de geração própria.

Figura 3.13 – Registro fotográfico do padrão de medição de energia elétrica da Cerâmica Irmãos Rolim.



Fonte: Próprio autor.

3.4 Teste e Manutenção de Inversores da KSTAR

Neste tópico, são descritas as atividades de teste e manutenção desenvolvidas nos inversores da KSTAR, com as atividades sendo realizadas em conjunto com o responsável técnico da marca. As atividades que são descritas envolvem danificação total e parcial dos inversores e inversor com erro não previsto no manual instalação e operação dos inversores da KSTAR.

A manutenção de garantia dos inversores da KSTAR ocorria na própria empresa,

Teccel Energia Solar, o que proporcionou um maior contato com esses equipamentos. As atividades aqui descritas foram sempre realizadas com o acompanhamento do responsável técnico da KSTAR, que se deslocava para a empresa sempre que havia algum equipamento defeituoso na garantia e essa era acionada pela empresa Teccel Energia Solar.

3.4.1 Inversor Danificado Totalmente

Apesar de ser um defeito com baixa frequência de ocorrência, os inversores podem ser danificados totalmente em decorrência de um curto-circuito, um aquecimento elevado, etc. Causando dessa forma, a danificação dos componentes e circuitos internos do inversor e comprometendo totalmente o seu funcionamento.

A figura 3.14 apresenta um inversor de 60 kW que foi trazido pelas equipes de campo para a empresa Teccel Energia Solar para se proceder aos testes do equipamento. O cheiro de queimado e a tampa com uma leve elevação já dava para verificar que o equipamento estava totalmente inutilizável.

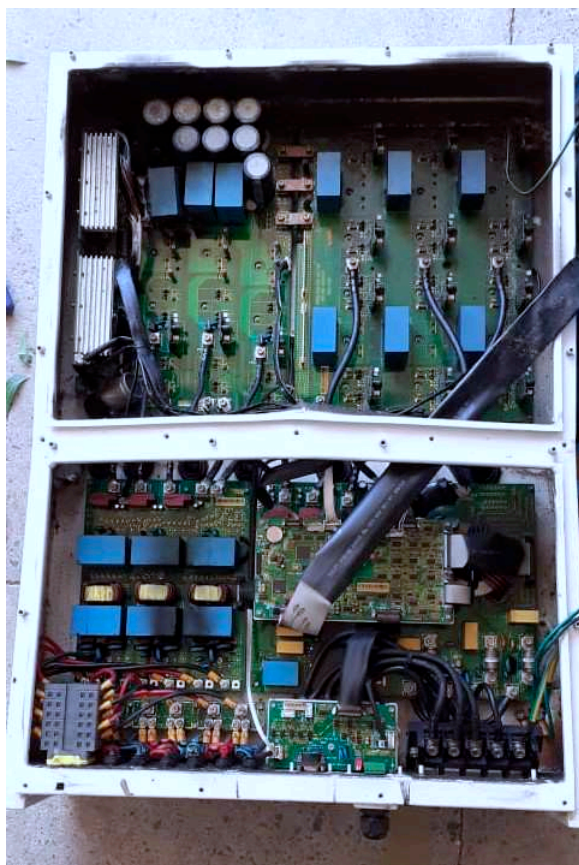
Figura 3.14 – Registro fotográfico do inversor de 60 kW fechado danificado totalmente.



Fonte: Próprio autor.

A figura 3.15 mostra o estado dos componentes e circuitos integrados internos, com o equipamento estando totalmente inutilizado. Equipamentos que chegam na empresa nesse estado, não se é possível saber ao certo a causa inicial do problema que ocorreu, podendo ser desde um problema interno no inversor, até um problema que se iniciou fora do inversor e se estendeu para o equipamento.

Figura 3.15 – Registro fotográfico do inversor de 60 kW aberto danificado totalmente.



Fonte: Próprio autor.

Os capacitores estourados do inversor podem ser visualizados na figura 3.16, com esses componentes estando desfigurados totalmente e não possibilitando nem a obtenção de suas informações técnicas.

Apesar dos equipamentos totalmente inutilizados ser de fácil verificação na maioria das vezes, é necessário que o inversor seja levado para a empresa para se proceder uma melhor verificação e para que se possa proceder na entrada da garantia do equipamento, caso o mesmo esteja na garantia. Além disso, os equipamentos são levados para a empresa para que se tenha o seu correto descarte.

Figura 3.16 – Registro fotográfico de capacitores do inversor de 60 kW estourados.



Fonte: Próprio autor.

3.4.2 Inversor com Placa Queimada

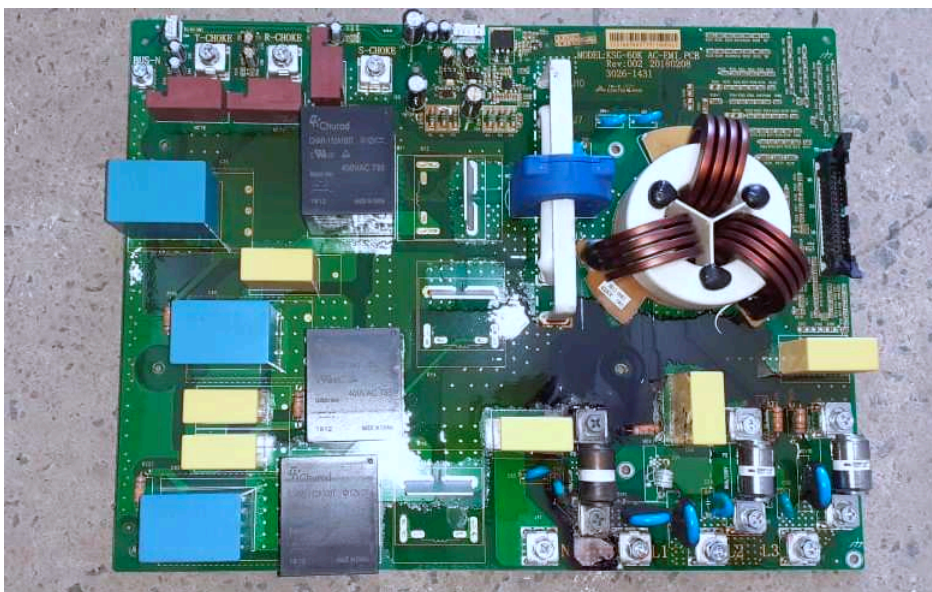
Um defeito com aparecimento bem mais recorrente, é o que envolve pequenas danificações nas placas do inversor, seja por um capacitor estourado, um pequeno curto-circuito, entre outros. Nessas situações, é possível a reparação do dano do equipamento e o seu retorno ao uso.

Sempre que inversor chega para teste, o procedimento inicial adotado é obter informações com as equipes de campo e entender a situação em que o inversor estava. Inicialmente, é necessária a obtenção do máximo de informações possíveis para que não se danifique mais o equipamento que esteja com alguma placa interna queimada, e também, para que não se perca tempo com um equipamento eventualmente bom em que o problema tenha sido externo ao inversor.

Inversor que possui avarias em suas placas, se ligado na rede da concessionária de energia elétrica ou na tensão cc proveniente das placas de energia solar, existe a possibilidade de se elevar as avarias, causando um maior prejuízo financeiro além de dificultar ou inviabilizar o concerto do equipamento. Dessa forma, inversores com possíveis avarias internas são, inicialmente, abertos e verificados a existência ou não

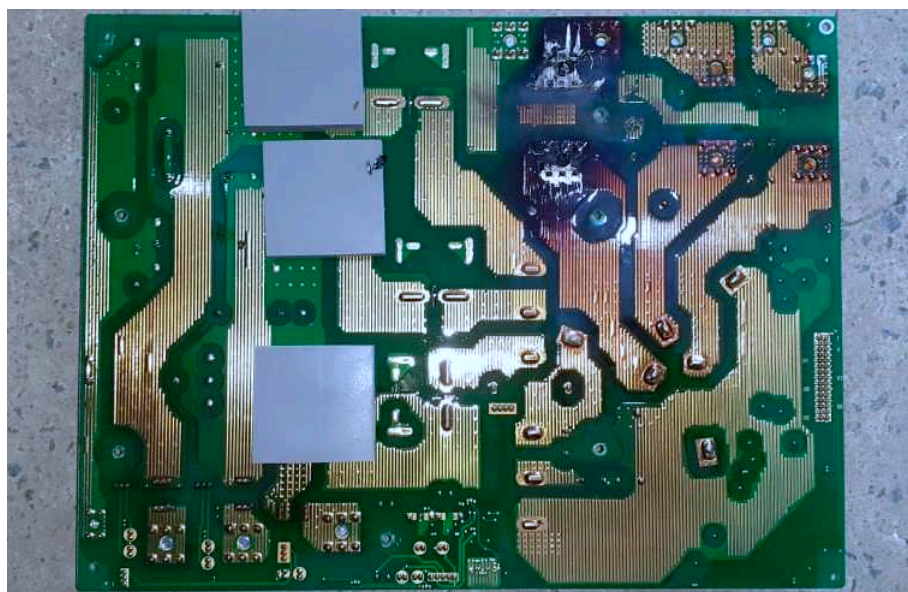
de curtos-circuitos ou componentes queimados, sendo realizada a substituição das placas que possuam defeito para a realização do teste do inversor. As figuras 3.17 e 3.18 apresentam uma placa de circuito integrado que teve um curto-circuito nas trilhas próximas do elemento fusível.

Figura 3.17 – Registro fotográfico da vista frontal da placa queimada.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.18 – Registro fotográfico da vista posterior da placa queimada.



Fonte: Próprio autor.

A figura 3.19 apresenta a base da placa defeituosa no inversor, com curto-circuito ocorrido manchando o inversor de preto, mas não chegando a danificar a base em que

a placa se localiza.

Figura 3.19 – Registro fotográfico da base da placa queimada no inversor.



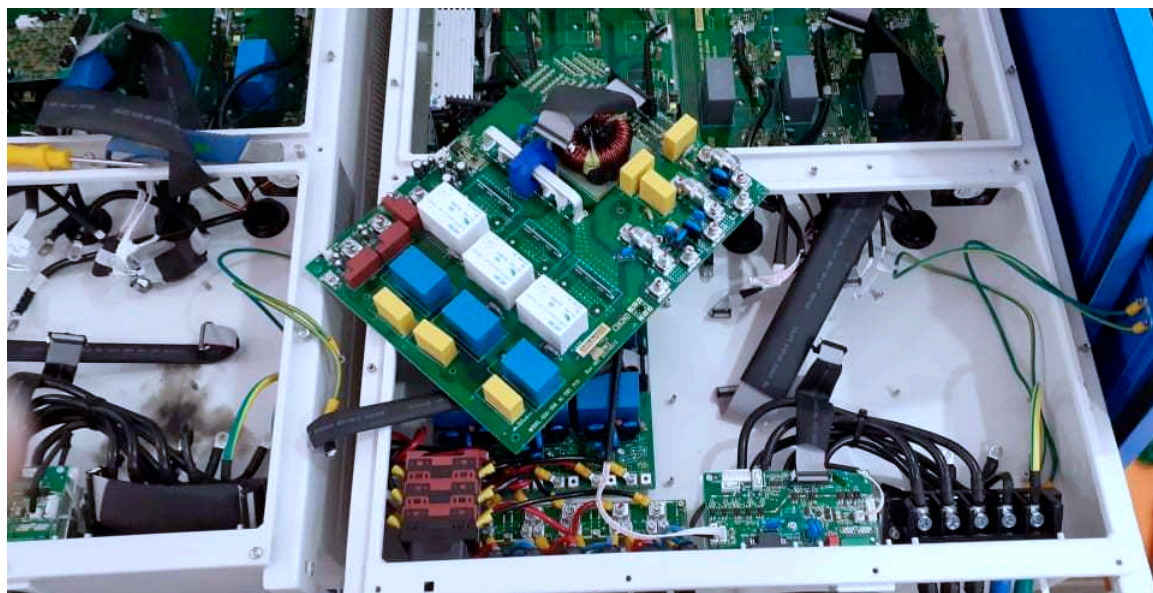
Fonte: Próprio autor.

Depois de identificada a placa com defeito e verificado a não existência de nenhuma outra placa com defeito, é realizado a troca da placa defeituosa por uma placa em bom estado de funcionamento (conforme mostra a figura [3.20](#)), para em seguida se proceder aos testes do inversor.

Como o custo dos inversores é elevado e existe uma grande variedade desses tipos de equipamentos, não é viável economicamente dispor um estoque que possua todos os tipos de placas dos inversores. Dessa forma, para se realizar a troca das placas dos inversores, é necessário retirar a placa de um outro inversor que esteja com defeito em outra localidade.

Efetuada a troca da placa defeituosa, o inversor é testado para verificar se o seu defeito é somente na placa em que se encontrava queimada. Se o inversor funcionar

Figura 3.20 – Registro fotográfico da placa sem defeito do inversor.



Fonte: Próprio autor.

corretamente, o responsável técnico da garantia dos inversores faz a solicitação de uma nova placa que vem diretamente da China e a placa em bom estado de funcionamento é retornada para o seu inversor de origem.

3.4.3 Inversor com Erro não Previsto no Manual de Instalação e Operação dos Inversores da KSTAR

Os inversores da KSTAR, em situações que não garantam o seu pleno funcionamento, reportam uma série de erros via display, com esses erros podendo ser tanto na instalação do equipamento, como também, na sua arquitetura interna. Todos os erros possíveis são previstos no manual de instalação e operação dos inversores da KSTAR, sendo também apresentados nos apêndices A e B deste trabalho.

De acordo com o manual de instalação e operação dos inversores da KSTAR, as possíveis falhas apresentadas via display são: F01, F02, F03, F04, F05, F06, F07, F08, F09, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19, F20, F21, F22, F23, F24 e F32. As respectivas descrições do que cada uma dessas falhas indica estão apresentadas no capítulo da fundamentação teórica dos inversores da KSTAR.

Em uma única vez, ocorreu uma situação de um inversor da KSTAR reportar uma falha via display que não constava entre as falhas previstas no manual de instalação e

operação do equipamento. A falha ocorrida foi a F26, conforme mostra a figura 3.21. Essa falha foi constatada quando inversor ainda estava em campo, não sendo possível uma solução no local.

Figura 3.21 – Registro fotográfico da falha F26 no inversor da KSTAR.



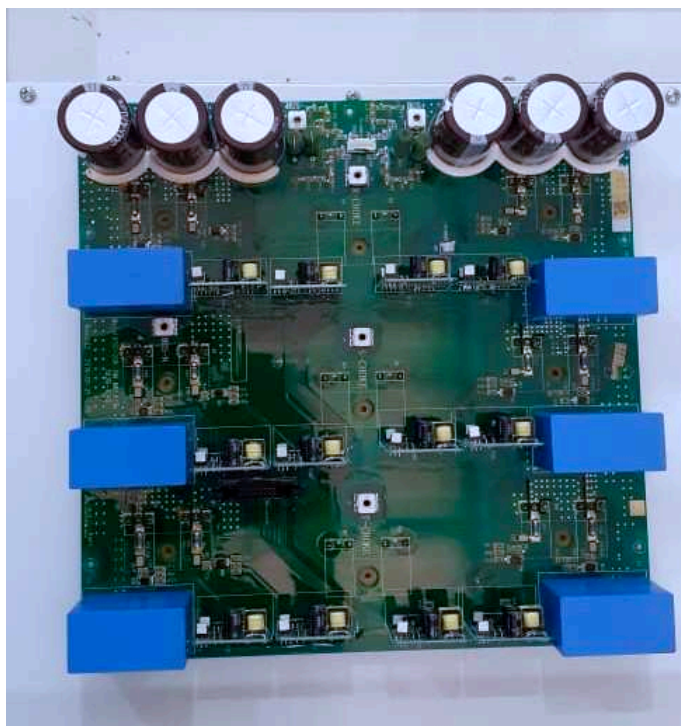
Fonte: Próprio autor.

Como a falha F26 não é prevista no manual de instalação e operação dos inversores da KSTAR, não se tem um procedimento de solução direcionado ao defeito. Então, inicialmente, é necessário realizar todos os possíveis testes relacionados a ligação do inversor para descartar possíveis problemas relacionados a instalação do equipamento. Se o defeito ainda persistir, é necessário abrir o inversor e verificar se alguma das placas de sua arquitetura interna apresenta alguma falha. Por último, não encontrado a falha, é necessário realizar o teste de cada placa do inversor separadamente até encontrar a placa que compromete o pleno funcionamento do inversor.

A placa com defeito estava em perfeito estado de conservação e sem nenhuma espécie de danificação, conforme mostra as figuras 3.22 e 3.23, porém, os testes atestaram o seu defeito. O defeito era em um dos componentes que formava a arquitetura da placa, provavelmente um dos transistores, porém não era cabível realizar testes na placa e

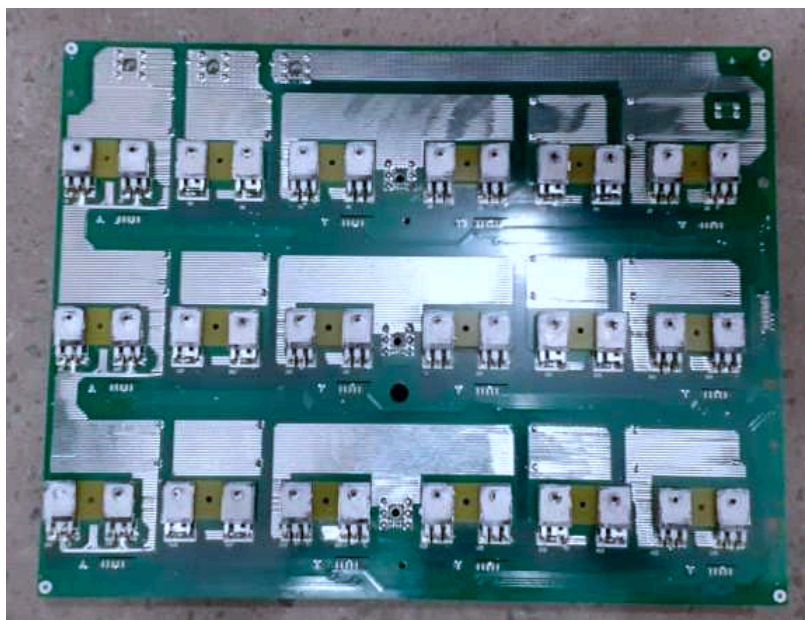
nem se tinha os equipamentos necessários para tal.

Figura 3.22 – Registro fotográfico da vista frontal da placa com defeito.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.23 – Registro fotográfico da vista posterior da placa com defeito.



Fonte: Próprio autor.

Por fim, depois de ser feitas todas as verificações e trocas de placas nos inversores, é realizado o seu teste final para assegurar a existência de mais nenhuma falha no inversor.

3.5 Monitoramento dos Sistemas de Energia Solar

Depois de finalizada a instalação dos sistemas de energia solar, é necessário o acompanhamento da geração dos sistemas para verificar se eles estão funcionando corretamente e gerando a energia elétrica esperada. O monitoramento pode ser realizado tanto por meio das plataformas de monitoramento dos inversores quanto por meio de softwares específicos de monitoramento existentes no mercado.

Os fabricantes dos inversores disponibilizam aplicativos de monitoramento para os sistemas de energia solar que utilizarem seus inversores, com cada marca de inversor possuindo sua própria plataforma. Dessa forma, empresas que vendem sistemas de energia solar com inversores dos mais variados tipos existentes no mercado, se utilizarem apenas as plataformas de monitoramento dos inversores, seria necessário realizar o acompanhamento em todas as plataformas existentes e disponibilizar o acesso do monitoramento para os clientes em aplicativos diferentes.

Empresas que trabalham com um número reduzido de tipos de inversores e com poucos sistemas de energia solar, é possível monitorar os sistemas por meio das plataformas disponibilizadas pelos fabricantes dos inversores, sem gerar grandes problemas. Porém, quando se trabalha com um número elevado de clientes e de tipos de inversores, esse tipo de monitoramento se torna mais complicado, sendo necessário uma plataforma de monitoramento para unificar todas as demais.

3.5.1 Solar Z

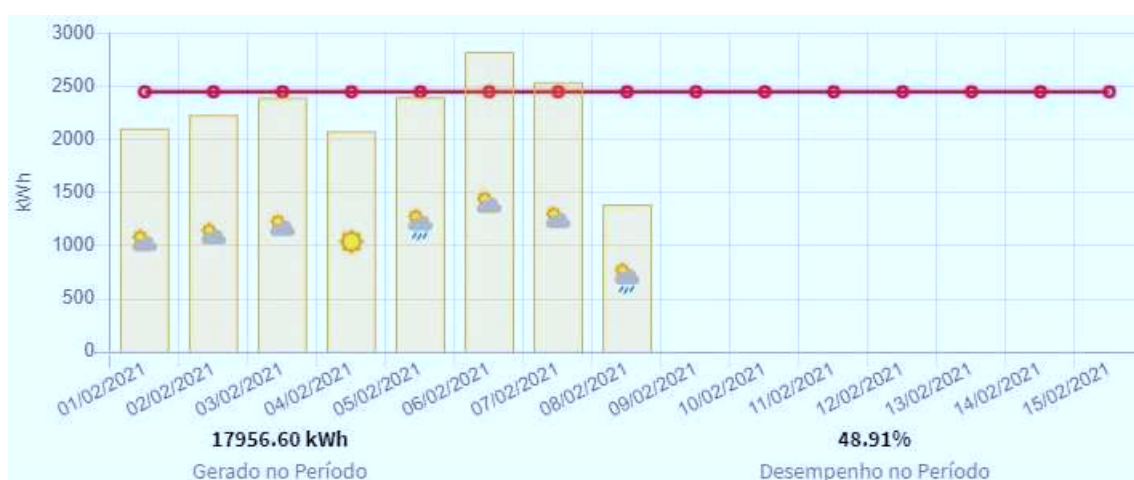
Na Teccel Energia Solar, a plataforma de monitoramento utilizada para acompanhar os sistemas de energia solar é o Solar Z. Esse software de monitoramento permite acompanhar todos os sistemas monitorados por meio de uma única plataforma, independentemente do tipo de inversor utilizado, facilitando o acompanhamento dos sistemas de energia solar instalados.

Quando se trabalha com grandes sistemas de geração, o monitoramento remoto se torna uma necessidade. Na ocorrência de problema no sistema de geração, o monitoramento remoto lança alertas em suas plataformas, possibilitando uma rápida intervenção e solução do problema, minimizando possíveis riscos à segurança e reduzindo os

prejuízos causados pela falta de geração.

Por outro lado, o próprio sistema de monitoramento está susceptível a erros. Na figura 3.24, é apresentado um sistema de grande porte com uma falha no monitoramento. O sistema é de 499,88 kWp, sendo esperado uma geração de 68.484 kWh por mês e aproximadamente 2.282,8 kWh por dia em média. Nesse sistema, é apresentado uma falha no monitoramento entre os dias 09 de fevereiro de 2021 a 15 de fevereiro de 2021, comprometendo totalmente o desempenho do sistema no período.

Figura 3.24 – Histograma de consumo de um sistema de energia solar de grande porte.



Fonte: Adaptado de (SOLARZ, 2021).

O monitoramento remoto dos sistemas de energia solar permite o acompanhamento desses sistemas verificando se ele está funcionando corretamente. Porém, o próprio monitoramento do sistema pode apresentar falhas e inviabilizar o monitoramento. Para ser possível o monitoramento dos sistemas de energia solar, é necessário que os inversores estejam conectados à rede de internet, e qualquer problema na conexão dos inversores com a internet, já é suficiente para comprometer o monitoramento do sistema. Os problemas mais recorrentes que ocorrem estão relacionados com mudanças usuais que ocorrem nas redes de internet, como por exemplo: troca de servidor de internet, troca do nome de acesso da rede de internet, troca da senha de acesso, etc.

Na situação descrita na figura 3.24, o problema apresentado no monitoramento não esteve relacionado com o funcionamento do sistema de energia solar, mas sim, com uma alteração na rede de internet em que os inversores estavam conectados. Nessa situação, atualizando a configuração do inversor conforme a alteração feita na rede de

internet, já é suficiente para que o monitoramento seja apresentado corretamente.

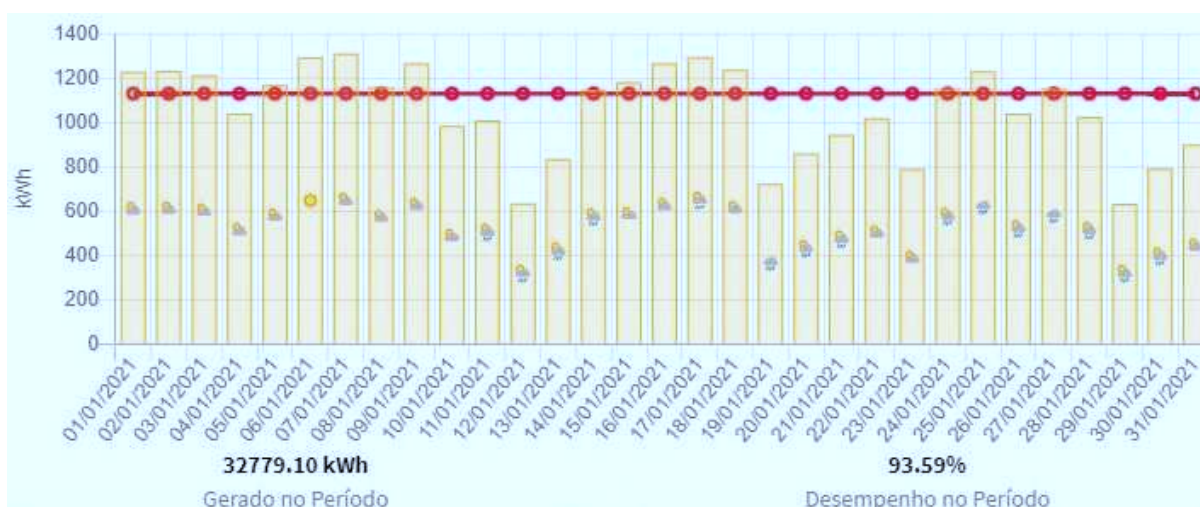
Embora a falha do monitoramento possa estar no próprio sistema de monitoramento, não se pode dispensar esse tipo do serviço nos sistemas de energia solar, principalmente nos grandes sistemas. Se um sistema de grande porte, como o apresentado na figura 3.24, ficar sem funcionar, o prejuízo financeiro causado é enorme. Por isso, para se ter uma rápida solução nos problemas que venham a ocorrer, se faz necessário o monitoramento remoto.

3.5.2 Monitoramento da Usina Solar da Cerâmica Irmãos Rolim

O monitoramento dos sistemas de energia solar tem a função de acompanhar a geração e de alertar sobre erros nos sistemas já instalados. Como a maioria dos sistemas de energia solar instalados pela Teccel, a usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim também está monitorada, proporcionando a visualização de sua geração mensal por meio do Solar Z.

A figura 3.25 apresenta a geração acumulada na usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim no mês de Janeiro de 2021. A geração estimada para o respectivo mês, segundo os dados de irradiação do CRESESB, é de 33.890 kWh, com a geração real do sistema sendo de 32.779 kWh e equivalendo a 96,72% da geração estimada.

Figura 3.25 – Histograma de geração do mês de Janeiro da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.

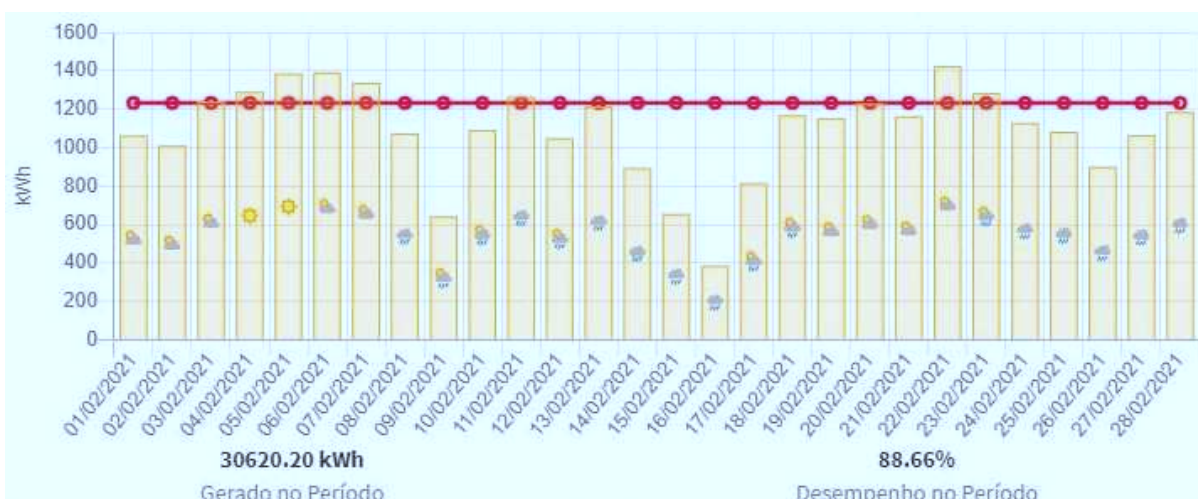


Fonte: Adaptado de (SOLARZ, 2021).

A figura 3.26 apresenta a geração acumulada na usina solar da Cerâmica Irmãos

Rolim no mês de Fevereiro de 2021. A geração estimada para o respectivo mês, segundo os dados de irradiação do CRESESB, é de 31.379 kWh, com a geração real do sistema sendo de 30.620 kWh e equivalendo a 97,58% da geração estimada.

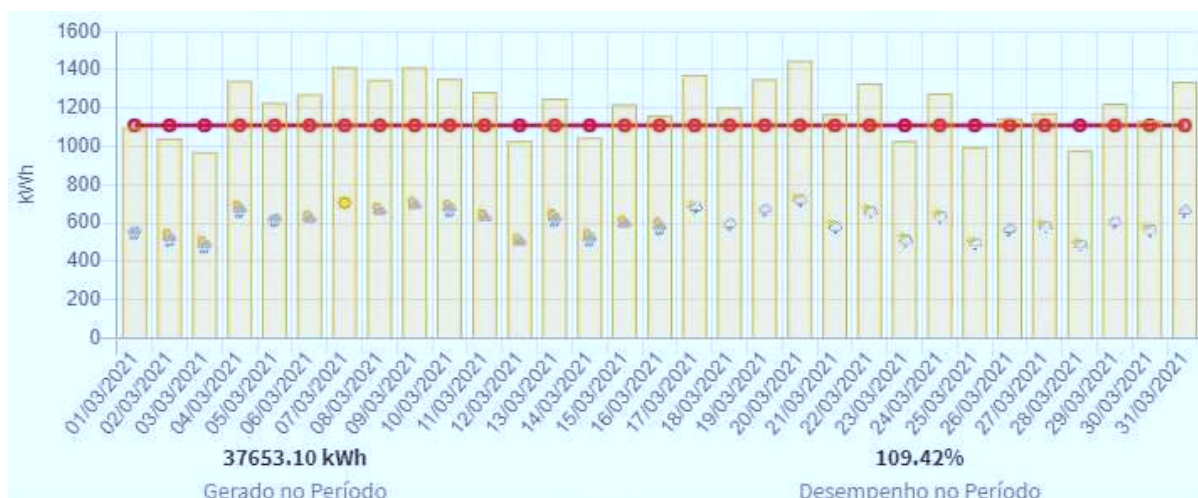
Figura 3.26 – Histograma de geração do mês de Fevereiro da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.



Fonte: Adaptado de (SOLARZ, 2021).

A figura 3.27 apresenta a geração acumulada na usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim no mês de Março de 2021. A geração estimada para o respectivo mês, segundo os dados de irradiação do CRESESB, é de 36.380 kWh, com a geração real do sistema sendo de 37.653 kWh e equivalendo a 103,50% da geração estimada.

Figura 3.27 – Histograma de geração do mês de Março da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.

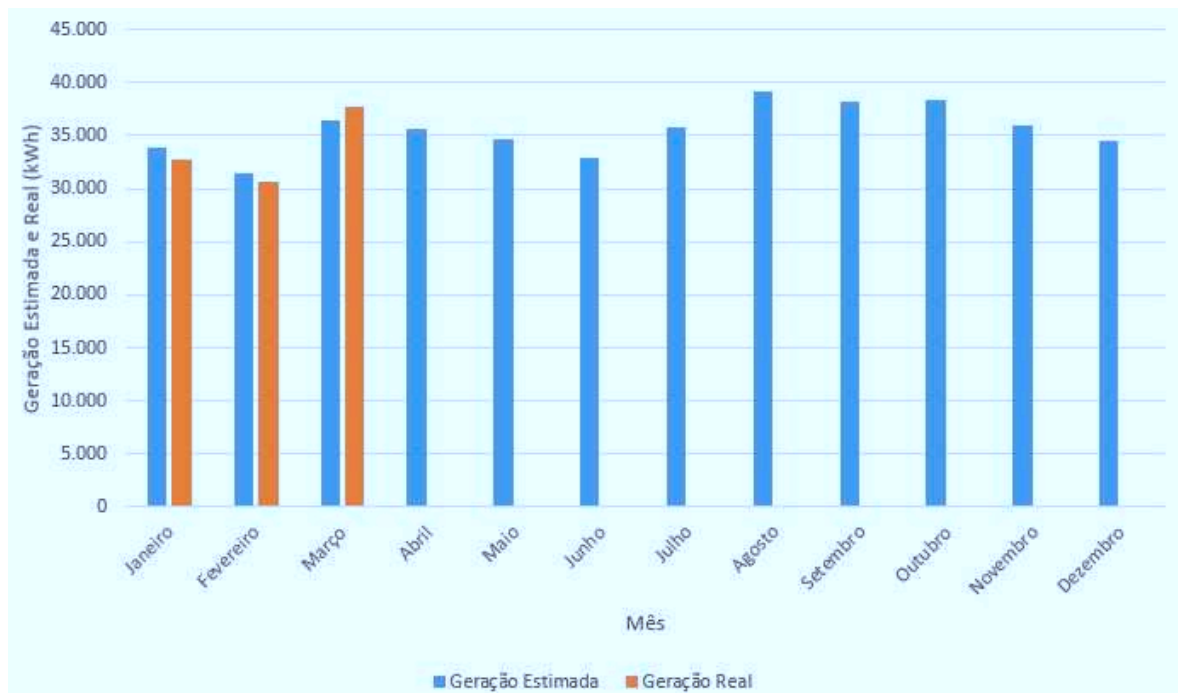


Fonte: Adaptado de (SOLARZ, 2021).

Por fim, na figura 3.28, é ilustrada, no gráfico de barras, a geração estimada e a real

na usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim nos três primeiros meses de 2021. A geração real da usina solar está bastante aproximada da geração estimada, não variando mais de 10% da geração estimada. Comprovando dessa forma, que pelo menos para esses três primeiros meses do ano, a usina solar gerou o esperado.

Figura 3.28 – Histograma de geração estimada e real da usina solar da Cerâmica Irmãos Rolim.



Fonte: Próprio autor.

Capítulo 4

Conclusão

O estágio proporcionou grandes contribuições na formação acadêmica e profissional na área da engenharia elétrica, por trazer experiências práticas de conteúdos teóricos do curso de engenharia. Essa experiência nos abre a visão tanto do que é estudado ao longo do curso de engenharia, como também, com relação ao mercado de trabalho. O que eleva a percepção dos ramos de atuação na engenharia elétrica.

O período do estágio foi de trabalho e de muita aprendizagem. Nele, foi possível colocar em prática os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Instalações Elétricas, Sistemas Elétricos, Geração de Energia Elétrica, Gerenciamento de Energia Elétrica, Eletrônica e várias outras. O conhecimento adquirido em disciplinas diferentes, mas com conteúdos correlatos, nos leva analisar os projetos e execuções dos sistemas de muitas perspectivas diferentes, melhorando a confiabilidade e segurança dos sistemas instalados.

O estágio foi realizado em uma empresa com grande atuação no mercado da energia solar, com setores internos muito bem divididos e estruturados. A passagem por várias dessas divisões de trabalho mostra a importância do trabalho em equipe, além de proporcionar uma visão mais ampla de uma empresa como um todo. Qualquer falha nas atividades desenvolvidas em uma dessas divisões, acaba por comprometer o sistema dos trabalhos realizados na empresa e o resultado final por ela esperado; desenvolvendo, dessa forma, um maior senso de responsabilidade com os trabalhos exercidos.

Por fim, o estágio proporcionou uma visão geral de solução dos problemas de

engenharia. Embora por vezes não se tenha uma solução imediata para os problemas existentes, isso não impede um estudo específico para se chegar a uma solução, possuindo como principal fator limitante o tempo que se tem para resolvê-lo.

Apêndice A

Sinalização de Falha Via Display LCD

A fim de facilitar a identificação de falhas existentes na instalação ou operação dos inversores, o inversor solar apresenta, via display LCD, uma série de possíveis erros de instalação ou de operação. Com esses erros sendo apresentados no inversor por meio de códigos que são descritos no manual de instalação e operação dos inversores da KSTAR.

De acordo com a (KSTAR, 2020), as sinalizações via display existentes no inversor solar são as seguintes:

- F00: tensão CA está muito baixa;
- F01: tensão CA está muito alta;
- F02: frequência CA está muito baixa;
- F03: frequência CA está muito alta;
- F04: tensão CC barramento está muito baixa;
- F05: tensão CC barramento está muito alta;
- F06: tensão CC barramento está desbalanceada;
- F07: impedância de isolamento está muito baixa;
- F08: corrente de entrada CC do PV está muito alta;
- F09: corrente de hardware está muito elevada;
- F10: corrente do inversor muito elevada;
- F11: corrente interna do inversor muito elevada;
- F12: temperatura ambiente muito elevada;
- F13: temperatura do dissipador muito elevada;

- F14: relé de rede CA anormal;
- F15: acusa falha em uma string quando operando em paralelo;
- F16: inversor desligado;
- F17: reserva;
- F18: falha de comunicação da placa de controle;
- F19: reserva;
- F20: corrente de fuga muito alta;
- F21: falha no auto teste para corrente de fuga;
- F22: tensão inconsistente entre rede distribuição e geração inversor;
- F23: frequência inconsistente entre rede distribuição e geração inversor;
- F24: falha da comunicação DSP no painel de controle;
- F32: falha da comunicação DSP no painel de controle.

Apêndice B

Soluções das Sinalizações de Falha Via Display LCD

O manual de instalação e operação dos inversores KSTAR apresenta não só a lista de falhas que os inversores mostram via display, apresentando também os procedimentos a serem seguidos para a correção dessas falhas. Facilitando a correção de erros de instalação ou operação e proporcionando um melhor entendimento dos erros existentes.

Dessa forma, de acordo com a (KSTAR, 2020), os procedimentos de correção das falhas apresentadas no display dos inversores solares são os seguintes:

- A Tensão CA e a frequência estão muito altas ou muito baixas (F00-F03): verifique se a tensão da rede de distribuição está compatível com a tensão do inversor; verifique se a saída CA do inversor está conectada com a rede de distribuição; desconecte a alimentação do painel PV, reinicie o sistema e verifique se o erro persiste;
- Tensão de barramento CC baixa ou alta (F04-F05): verifique a configuração CC de entrada; desconecte o painel PV, reinicie o acionamento do inversor e verifique se a falha permanece;
- Tensão de barramento CC desbalanceada (F06): verifique a configuração CC de entrada; desconecte o painel PV, reinicie o acionamento do inversor e verifique se a falha permanece;
- Falha na impedância de isolamento (F07): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha ainda permanece; meça a impedância entre PV+/PV- para o aterramento, o valor deve ser superior a 500 k Ω ;

- Corrente CC de entrada alta (F08): verifique a configuração do PV; desconecte a entrada do PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Sobrecorrente de hardware (F09): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha ainda permanece;
- Sobrecorrente do inversor (F10): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Sobrecorrente do inversor (F11): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Sobretemperatura ambiente (F12): desconecte a entrada do painel PV, e aguarde o resfriamento do inversor; confira se a temperatura ambiente está fora da faixa de operação do inversor;
- Temperatura elevada no dissipador (F13): desconecte a entrada do painel PV, aguarde o resfriamento do dissipador do inversor, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste; verifique também, se a temperatura ambiente está fora da faixa de operação do inversor;
- Falha do relé de rede CA (F14): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Tensão de entrada do painel PV baixa (F15): confira o arranjo do painel PV, em caso de paralelismo uma das entrada pode estar inativa, ou configurada com nível de tensão fora da faixa de operação do inversor; desconecte a entrada do PV e corrija o arranjo, reinicie o inversor e verifique se o erro persiste;
- Desligamento remoto (F16): o inversor está no estado de desligamento remoto, o mesmo pode ser ligado e desligado remotamente;
- Falha de comunicação SPI (F18): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Corrente de fuga elevada (F20): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Falha do auto teste para corrente de fuga (F21): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Falha da tensão CA (F22): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;

- Falha de frequência (F23): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Falha comunicação DSP (F24): desconecte a entrada do painel PV, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste;
- Comunicação DSP perdida (F32): desconecte a entrada do painel PV, após, reinicie o inversor e verifique se a falha persiste.

Segundo o manual de instalação e operação da KSTAR (KSTAR, 2020), durante o processo do modo de operação normal do inversor, falhas na rede elétrica de distribuição podem ocorrer, como: sobretensão CA, subtensão CA, alterações na frequência de rede CA e falta de rede CA. Porém, nessas situações, o inversor para de operar e inicializa o sistema mediante as condições normais da rede de distribuição.

Referências Bibliográficas

AMERISOLAR. *New Energy New World. Monocrystalline Module*. Amerisolar, 2019. Disponível em: <<https://selasenergy.gr/technical%20data/solar-panels/Amerisolar/f8b1c812a12a9fcf6c98d90753871f99.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

ANEEL. *Resolução Normativa Número 235, de 14 de novembro de 2006. Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogeneradoras de energia e dá outras providências*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2006. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>. Acesso em: 31 dez. 2020.

ANEEL. *Resolução Normativa Número 414, de 09 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2020.

ANEEL. *Resolução Normativa Número 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 31 dez. 2020.

ANEEL. *Resolução Normativa Número 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 31 dez. 2020.

ANEEL. *Geração Distribuída*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 31 dez. 2020.

ANEEL. *Postos Tarifários*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/postos-tarifarios>>. Acesso em: 04 mar. 2021.

BRUESOL. *Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica. Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares*. Bruesol Educacional, 2021. Disponível em: <<https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2021.

CRESESB. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2021.

CRESESB. *Potencial Solar - SunData v 3.0*. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2021. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 23 fev. 2021.

DLR-ISIS. *DLR-ISIS. Irradiance at the Surface derived from ISCCP cloud data*. DLR-ISIS, 2021. Disponível em: <http://www.pa.op.dlr.de/ISIS/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

ENERGISA. *Norma Técnica de Distribuição 013, de março de 2016. Critérios para a conexão de acessantes de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa*. Energisa, 2016. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Documents/NTD-013%20Crit%C3%A9rios%20para%20Conex%C3%A3o%20de%20Acessantes%20de%20Micro%20e%20Mini%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADda.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2021.

ENERGISA. *Norma de Distribuição Unificada 001, de junho de 2019. Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações Individuais ou Agrupadas até 3 Unidades Consumidoras*. Energisa, 2019. Disponível em: https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/NDU%20001%20-%20Fornecimento%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20em%20Tens%C3%A3o%20Sec.%20a%20Consum.%20Individ.%20ou%20Agrupados%20at%C3%A9%203%20Un_V6.0_Site%20Energisa.pdf. Acesso em: 19 fev. 2021.

ENERGISA. *Norma de Distribuição Unificada 002, de junho de 2019. Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária*. Energisa, 2019. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/NDU%20002%20-%20Fornecimento%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20em%20Tens%C3%A3o%20Prim%C3%A1ria.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021.

ENERGISA. *Norma de Distribuição Unificada 003, de junho de 2019. Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária e Secundária a Agrupamentos ou Edificações de Múltiplas Unidades Consumidoras acima de 3 Unidades Consumidoras*. Energisa, 2019. Disponível em: https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/NDU%20003%20-%20Fornecimento%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20em%20Tens%C3%A3o%20Prim%20e%20Sec%20a%20Agrupamentos%20Acima%20de%203%20Unidades_V7.1.pdf. Acesso em: 19 fev. 2021.

GROWATT. *MAX75 KTL 3LV*. Growatt, 2021. Disponível em: https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto73047IdArquivo26219.pdf?__cf_chl_jschl_tk__=82ce4914756cb9457d3b13bb51ce124f5d3d271a-1614609641-0-ARmyh_6xbXHCWRZ6xCqLPCly-5yL6JVot72yZfpA_VT5Tc5jZJMyu-JWZlWrgNH0VBDL91PzeQ03cz2iopUVhW_igzj7rcr925Z4hJmem5ns7CfQKzS563cvxj3n9IQ3HjaKfrulq_eFeRZ0Cb0CuF1hmxMnwhquN_ZRYDnNE0pS1o48qCfD9xje__WOF_bldnw2obizRMC93vNd-jZ9r3scVyh80ZpI2-28npX-PEpROihAIUGfs56rzaL5igNRaQazopFz7bVarHvC7-UTg81jVrUM6mBXrbWgpOPyRaIrbv71OgWMedUL_Jz_7xfU22Oztm3Yhne1v_3gIY9-G6Riv9Cs08g6SLgAg42_tl. Acesso em: 01 mar. 2021.

GROWATT. *MID 15 25KTL3-X*. Growatt, 2021. Disponível em: <http://ginverter.com/upload/file/contents/2019/10/5db2545dd8c4d.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2021.

INPE. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>. Acesso em: 05 mar. 2021.

KSTAR. *Catálogo de Inversores Fotovoltaicos KSTAR*. KSTAR, 2017. Disponível em: [https://s3.us-east-2.amazonaws.com/legacy.portalsolar.com.br/Content/EditorImages/files/PV%20Inverter%20Catalogue%202017%20\(Portuguese%20\).pdf](https://s3.us-east-2.amazonaws.com/legacy.portalsolar.com.br/Content/EditorImages/files/PV%20Inverter%20Catalogue%202017%20(Portuguese%20).pdf). Acesso em: 01 jan. 2021.

KSTAR. *Manual de Instalação e Operação*. KSTAR, 2020. Disponível em: https://khronosdistribuidora.com.br/sites/default/files/downloads/1.ksg-1k1.5k2k3k-sm3_manual_usuario.pdf. Acesso em: 01 jan. 2021.

METEONORM. *Meteonorm Software. Weltweite Einstrahlungsdaten*. Meteonorm, 2021. Disponível em: <https://meteonorm.com/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

NREL. *NREL. Transforming Energy*. NREL, 2021. Disponível em: <https://www.nrel.gov/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

SOLARGIS. *SOLARGIS. Weather data and software for solar power investments*. SOLARGIS, 2021. Disponível em: <https://solargis.com/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

SOLARZ. *Sistema de Monitoramento de Múltiplas Usinas Solares*. SolarZ, 2021. Disponível em: <https://solarz.com.br/>. Acesso em: 26 fev. 2021.