

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS SANTA MÔNICA

WALISSON MARTINS TEIXEIRA

Comissionamento de uma usina fotovoltaica de 2.026,08 kWp/1.584 kW

Uberlândia - MG

2023

Walisson Martins Teixeira

Comissionamento de uma usina fotovoltaica de 2.026,08 kWp/1.584 kW

Trabalho de Conclusão de Curso da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Isaque Nogueira
Gondim

Uberlândia - MG

2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

T266 2023	<p>Teixeira, Walisson Martins, 1994- Comissionamento de uma usina fotovoltaica de 2.026,08 kWp/1.584 kW [recurso eletrônico] / Walisson Martins Teixeira. - 2023.</p> <p>Orientador: Isaque Nogueira Gondim . Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Elétrica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia elétrica. I. , Isaque Nogueira Gondim, 1983-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.3</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

WALISSON MARTINS TEIXEIRA

Comissionamento de uma usina fotovoltaica de 2.026,08kWp/1.584 kW

Trabalho de Conclusão de Curso da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Uberlândia – MG, 2023

Banca Examinadora:

Dr. Isaque Nogueira Gondim – Professor - UFU

Dr. Gustavo Brito de Lima – Professor - UFU

Dr. Luciano Coutinho Gomes – Professor - UFU

Dedico este trabalho aos meus pais,
pelo estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus por me proporcionar saúde, força e resiliência para superar todos os obstáculos que encontrei no meu caminho e por abrir novas oportunidades para mim.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Benedito Martins Teixeira e Lucineia Teixeira Martins, pelo amor e apoio incondicional que sempre me deram, mesmo quando estive ausente e longe de casa.

Agradeço ao meu orientador, o Professor Dr. Isaque Nogueira Gondim, pela sua disponibilidade e por ter aceitado ser meu guia neste trabalho. Além disso, gostaria de agradecer aos Professores Dr. Luciano Coutinho Gomes e Dr. Gustavo Brito de Lima por terem aceitado participar da banca examinadora e por sua disponibilidade mesmo em final de semestre.

Gostaria de agradecer aos amigos que fiz na universidade. Eles são uma parte importante da minha jornada e compartilhamos muitos anos juntos. Eles foram um apoio constante durante todos esses anos de estudo e sempre estiveram lá uns para os outros.

Por fim, quero expressar minha gratidão à Universidade Federal de Uberlândia, a todo o corpo docente, a direção, à administração e aos técnicos que sempre apoiaram e orientaram os discentes durante toda a jornada acadêmica.

Estou imensamente grato por todas essas pessoas e instituições que fizeram parte deste importante momento da minha vida. Agradeço de coração a todos e que Deus continue a abençoá-los.

“O pessimista vê dificuldade em cada oportunidade. O otimista vê oportunidade em cada dificuldade.”

Winston Churchill

RESUMO

Usinas fotovoltaicas, normalmente abreviadas por UFV's, são sistemas de geração de energia elétrica renovável, utilizando-se painéis solares. Este trabalho tem como objetivo abordar os principais tópicos da fase de comissionamento conforme estabelecido pela ABNT NBR 16274:2014 – “Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho”. Será apresentado as principais etapas pré-estabelecidas de inspeção, testes e avaliações dos resultados encontrados *in loco*, através de um estudo de caso de uma usina fotovoltaica de 2.026,08 kWp/1.584 kW situada em Uberaba, Minas Gerais, Brasil. Desta maneira foi necessário o auxílio de equipamentos para as coletas de dados com objetivo de validar, mitigar e analisar quaisquer falhas que possam ser encontrados na instalação.

Palavras-chave: Usina fotovoltaica, comissionamento, usina solar, minigeração fotovoltaica.

ABSTRACT

Photovoltaic power plants, usually abbreviated as PVPs, are renewable energy electric generation systems that use solar panels. This work aims to address the main topics of the commissioning phase as established by ABNT NBR 16274:2014 - "Connected Photovoltaic Systems - Minimum Requirements for Documentation, Commissioning Tests, Inspection, and Performance Evaluation". The main pre-established stages of inspection, tests, and assessments of the results found in situ will be presented through a real case study of a 2,026.08 kWp/1,584 kW photovoltaic power plant located in Uberaba, Minas Gerais, Brazil. In this way, the assistance of equipment was necessary for data collection with the aim of validating, mitigating, and analyzing any flaws that may be found in the installation.

Keywords: Photovoltaic power plant, commissioning, solar plant, small-scale photovoltaic generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Relação da irradiância solar sobre a corrente e tensão	22
Figura 2 - Miliohmímetro digital	29
Figura 3 - Megômetro digital	32
Figura 4- Principais anomalias de uma curva I-V	35
Figura 5 - Principais falhas de módulos fotovoltaicos	37
Figura 6 - Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade dos módulos	48
Figura 7 - Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade entre as mesas	48
Figura 8 - Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade do cercamento	49
Figura 9 - Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade longitudinais	50
Figura 10 - Dados obtidos da tabela de pontos auxiliares.....	50
Figura 11 - Dados obtidos da tabela de ensaio Voc	52
Figura 12 - Dados obtidos da tabela de ensaio de resistência de isolamento C.C	53
Figura 13 - Dados extraídos do inversor 22	54
Figura 14 - Dados obtidos da tabela de ensaio de resistência de isolamento C.A	55
Figura 15 - Dados obtidos da tabela de desempenho do ensaio de curva I-V	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Check list para inspeção do sistema c.c	40
Tabela 2 - Parâmetros de Voc e critérios de aceitação	52

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1- Usina fotovoltaica de minigeração	13
Imagem 2- Arranjo de módulos fotovoltaicos	14
Imagem 3- Inversor solar Huawei - WEG	15
Imagem 4 - Estrutura de fixação para módulos fotovoltaicos	16
Imagem 5 - Transformador de potência.....	18
Imagem 6 - Quadro geral de baixa tensão	20
Imagem 7 - Usina Fotovoltaica Atlas	23
Imagem 8 - Cabos C.C dispostos de forma irregular.....	41
Imagem 9 - Cabos com amarração inadequada	42
Imagem 10 - Cabos tensionados próximo a caixa de junção	42
Imagem 11 - Eletroduto sem vedação.....	43
Imagem 12 - Conector MC4 exposto a intempéries e de modelo diferente.....	44
Imagem 13 - Circuito C.A sem identificação das fases	45
Imagem 14 - Identificação da fileira e inversor da UFV	46
Imagem 15 - Medição de continuidade no " <i>End Clamp</i> " do módulo	49
Imagem 16 - Sensor de irradiância e temperatura posicionados para medição	57
Imagem 17 - Ensaio de curva I-V	58
Imagem 18 - Efeito da sujidade nos módulos fotovoltaicos	60
Imagem 19 - Caixa de junção com sobreaquecimento no condutor	62
Imagem 20 - Inspeção termográfica do inversor	62
Imagem 21 - Inspeção termográfica do QGBT.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

UFV - Usina Fotovoltaica

NBR - Norma Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NR - Norma Regulamentadora

MW – Mega Watt

W - Watt

V - Volts

A - Ampère

kV – kilo Volt

INV - Inversor

TE - Transformador

STR - String

C.C - Corrente Contínua

C.A - Corrente Alternada

Voc – Tensão de circuito aberto

Isc – Corrente de curto-circuito

NOCT - Nominal Operating Cell Temperature/Condições de Temperatura nominal de operação da célula solar

STC - Standard Test Conditions/Condições Padrão de Teste

QGBT - Quadro Geral de Baixa Tensão

IxV - Corrente x Tensão

O&M – Operação e Manutenção

GD – Geração Distribuída

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	12
1.2 Estrutura do trabalho.....	12
2 USINA FOTOVOLTAICA (UFV)	13
2.1 Módulo fotovoltaico	14
2.1.2 Inversor solar	15
2.1.3 Estrutura de fixação	16
2.1.4 Condutores elétricos	17
2.1.5 Eletrodutos	17
2.1.6 Transformadores	18
2.1.7 Aterramento e Equipotencialização	19
2.1.8 Cabines de média tensão	19
2.2 Parâmetros elétricos	20
2.2.1 Curva I-V.....	20
2.2.2 Tensão de circuito aberto (voc)	21
2.2.3 Corrente de curto-circuito (isc)	21
2.2.4 Ponto de máxima potência (pmp).....	21
2.2.5 Irradiância solar	22
3 COMISSONAMENTO UFV ATLAS	23
3.1 Inspeção visual da UFV Atlas	25
3.1.1 Pré-requisitos para a inspeção visual.....	25
3.1.2 Inspeção elétrica C.C e C.A	26
3.1.3 Inspeção mecânica	27
3.1.4 Inspeção civil	27
3.2 Ensaio de comissionamento	28
3.3 Ensaio de categoria 1	28
3.3.1 Ensaio de continuidade da malha de aterramento	28
3.3.2 Ensaio de polaridade e tensão de circuito aberto	30
3.3.3 Ensaio de curto-circuito nas séries fotovoltaicas	31
3.3.4 Ensaio da resistência de isolamento dos circuitos C.C e C.A	31
3.4 Ensaio de categoria 2	33

3.4.1 Ensaio de curva I-V	33
3.4.2 Inspeção termográfica	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 Resultados da inspeção visual.....	38
4.1.1 Inspeção do sistema C.C.....	39
4.1.2 Inspeção do sistema C.A.....	45
4.1.3 Inspeção civil e mecânica	46
4.2 Resultados dos ensaios de comissionamento	47
4.2.1 Resultados do ensaio de continuidade da malha de aterramento	47
4.2.2 Resultados ensaio de polaridade de circuito aberto (voc).....	51
4.2.3 Ensaio de resistência de isolamento C.C.....	53
4.2.4 Ensaio de resistência de isolamento C.A.....	54
4.2.5 Resultados do ensaio de curva I-V	56
4.2.6 Resultados da inspeção termográfica.....	61
5 PROPOSTA DE TRABALHO FUTURO	64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
7 REFERÊNCIAS.....	66
ANEXO A – PROJETO EXECUTIVO – UFV ATLAS	70
ANEXO B – PROJETO DA MALHA DE ATERRAMENTO – UFV ATLAS	71
ANEXO C – DETALHES DO ATERRAMENTO – UFV ATLAS.....	72
ANEXO D – DATASHEET INVERSOR SOLAR	73
ANEXO E – DATASHEET MÓDULO FV.....	74

1 INTRODUÇÃO

O recente crescimento dos sistemas fotovoltaicos de minigeração no Brasil tem sido amplamente registrado pela ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). Isso se deve principalmente à resolução normativa nº 482/2012 e à regulamentação da lei 14300/22, que permitiram e incentivaram a geração distribuída de energia solar no país. No entanto, este aumento na quantidade de empreendimentos fotovoltaicos requer fiscalização adequada para garantir a qualidade, eficiência e segurança do sistema.

Este trabalho tem como visa estudar o processo de comissionamento de sistemas fotovoltaicos de minigeração, incluindo análises, inspeções e testes para garantir que o projeto, execução, equipamentos e materiais utilizados estejam de acordo com normas técnicas, leis, boas práticas de engenharia e requisitos do proprietário ou contratante, garantindo que todo o sistema fotovoltaico esteja em conformidade e em pleno funcionamento antes da entrega.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma avaliação detalhada de uma usina fotovoltaica de minigeração, com foco especial na fase de comissionamento. Esta etapa é crucial para garantir que o projeto tenha sido implementado de acordo com normas técnicas, requisitos operacionais e de segurança. O comissionamento é realizado por meio de uma série de ações padronizadas, como inspeções, testes e análises de desempenho, que visam certificar que todos os aspectos do projeto foram implementados de forma correta e estão funcionando de acordo com os requisitos estabelecidos.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em seis capítulos, incluindo o capítulo introdutório. O Capítulo 2 tem como objetivo apresentar os equipamentos que compõem uma usina fotovoltaica e seus parâmetros, para que o leitor possa estar familiarizado com os principais aspectos que serão abordados no Capítulo 3. Este terceiro capítulo tratará sobre o processo de comissionamento de uma usina fotovoltaica, incluindo suas etapas e requisitos necessários para sua realização. O Capítulo 4 apresentará uma descrição detalhada da usina que será objeto de estudo neste trabalho. Em seguida, no Capítulo 5, serão apresentados os resultados do comissionamento realizado, incluindo as inspeções e ensaios efetuados. Finalmente, no Capítulo 6, serão

apresentadas as considerações finais e como este estudo de caso forneceu uma visão prática para complementar os estudos teóricos realizados em sala de aula, bem como uma sugestão de possíveis pesquisas futuras no capítulo 7.

2 USINA FOTOVOLTAICA (UFV)

Um complexo fotovoltaico, são compostos por componentes tais como módulos fotovoltaicos, inversores, transformador de potência, cabines de proteção e medição. Este sistema é projetado para funcionar como uma usina geradora de energia elétrica, utilizando a luz solar capturada pelos módulos fotovoltaicos como fonte de energia.

Imagem 1 - Usina fotovoltaica de minigeração



Fonte: do Autor

A expansão das Unidades de Geração de Energia Fotovoltaica (UFV's) tem sido notável tanto no Brasil quanto em nível global. De acordo com dados fornecidos pela ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), houve um crescimento significativo na geração de energia fotovoltaica no Brasil entre abril de 2012 e junho de 2022, com uma potência instalada de 11.315 MW na geração distribuída. Estes dados apontam para uma tendência

positiva no uso da energia fotovoltaica como uma fonte de geração de energia renovável e sustentável.

2.1. MÓDULO FOTOVOLTAICO

Um módulo fotovoltaico é formado por uma agregação de células fotovoltaicas, que são os dispositivos básicos responsáveis pela geração de energia elétrica. Essas células são montadas em uma estrutura e conectadas eletricamente, comumente em série, para aumentar a capacidade de geração de energia do módulo. Além disso, os conjuntos de células em série são interconectados com diodos de by-pass, que possuem a função de garantir a continuidade do fluxo de corrente elétrica mesmo em caso de sombreamento em alguma parte do módulo. Quando isso ocorre, os diodos entram em operação, desviando aproximadamente 1/3 da corrente elétrica. Essa medida é fundamental para garantir o funcionamento adequado do sistema fotovoltaico.

Imagem 2 - Arranjo de módulos fotovoltaicos



Fonte: do Autor

A imagem 2 apresenta um arranjo de módulos fotovoltaicos conectados em série, os quais são de tipo policristalino. Esses módulos são também conhecidos como policristalino de silício (p-Si). A fabricação desses módulos é realizada a partir de diversos pequenos cristais de silício, os quais são fundidos em um bloco para formar múltiplos cristais. A partir desses blocos são produzidas as células fotovoltaicas.

2.1.2 INVERSOR SOLAR

Os inversores são equipamentos amplamente utilizados em sistemas fotovoltaicos para converterem a energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos de corrente contínua (C.C.) para corrente alternada (C.A.). É importante que a energia C.A. produzida pelos inversores possua amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados e sincronizados com a tensão da rede elétrica, de acordo com o que foi destacado por Pinho (2014).

Existem diversos tipos de inversores disponíveis no mercado, cada um com seus próprios parâmetros elétricos e aplicações. Em sistemas de grande porte, os inversores trifásicos são frequentemente utilizados. É importante destacar que a escolha adequada do inversor é crucial para garantir a eficiência e eficácia do sistema fotovoltaico.

Imagem 3 - Inversor solar Huawei – WEG



Fonte: do Autor

Na imagem 3, é apresentado um exemplo de inversor trifásico da marca Huawei - WEG com capacidade nominal de 66 kW instalado na Unidade de Geração Distribuída Atlas, localizada em Uberaba, Minas Gerais. Este dispositivo apresenta uma eficiência de operação de 98,7%, além de possuir seis entradas de MPPT (Maximum Power Point Tracking), que é um sistema de controle projetado para identificar e acompanhar o ponto de máxima potência do sistema fotovoltaico. A presença deste recurso permite que a geração de energia elétrica do sistema seja otimizada, aumentando assim a sua eficiência.

2.1.3 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

A fim de assegurar a estabilidade e segurança dos módulos fotovoltaicos, as estruturas de fixação são elementos fundamentais no sistema fotovoltaico. Existem diversos tipos de estruturas disponíveis no mercado, tanto para instalações em telhados quanto para instalações em solo. As estruturas para solo são as mais frequentemente utilizadas nas Usinas Fotovoltaicas.

A importância da escolha adequada e implantação da estrutura de fixação é notável, já que ela garante a vida útil e a segurança do sistema fotovoltaico. Além disso, uma estrutura bem dimensionada contribui para o posicionamento correto e a inclinação dos módulos, o que consequentemente aumenta a eficiência do sistema.

Imagem 4 - Estrutura de fixação para módulos fotovoltaicos



Fonte: do Autor

Em geral, as estruturas são fabricadas de alumínio ou aço inoxidável, tendo *clamps* no mesmo material para fixação dos módulos. A estrutura é composta por seis elementos principais: pilar, tesoura, mão francesa, terça, diagonal e união diagonal. Além disso, os *clamps* são usados para fixar o módulo na estrutura.

2.1.4 CONDUTORES ELÉTRICOS

O sistema fotovoltaico conectado à rede requer o uso de condutores elétricos específicos que possam suportar as condições ambientais do local da instalação, tais como temperatura, radiação UV, umidade e corrosão. Esses condutores devem ser de classe II e adequados para aplicações fotovoltaicas.

Os condutores fotovoltaicos são identificados por cores diferentes para os polos positivo (vermelho) e negativo (preto). A escolha da seção do condutor é fundamental e deve ser realizada com base nas normas NBR 5410, NBR 16690 e NBR 16612, que se referem às instalações elétricas. É importante consultar essas normas para garantir o correto dimensionamento dos condutores.

2.1.5 ELETRODUTOS

Os eletrodutos são elementos fundamentais em sistemas elétricos, especialmente em instalações fotovoltaicas. Eles servem para proteger os cabos elétricos e proporcionar uma via segura e apropriada para o transporte de corrente elétrica. A proteção dos cabos é fundamental para assegurar a vida útil e confiabilidade do sistema elétrico, e os eletrodutos desempenham um papel crucial neste aspecto.

Os eletrodutos para instalações fotovoltaicas devem ser fabricados com materiais capazes de resistir às condições adversas, tais como a radiação ultravioleta, temperaturas extremas e umidade. Além disso, é importante que sejam bem dimensionados, garantindo que sejam adequados para abrigar a quantidade exata de condutores elétricos.

2.1.6 TRANSFORMADORES

Os transformadores são componentes fundamentais em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, tendo a capacidade de modificar níveis de tensão e corrente entre diferentes circuitos. A sua operação baseia-se nos princípios do eletromagnetismo, ajustando os níveis de tensão de um determinado equipamento para que sejam compatíveis com os padrões exigidos pela concessionária local.

Imagem 5 - Transformador de potência



Fonte: do Autor

Além disso, os transformadores também desempenham uma função importante nas usinas fotovoltaicas, convertendo os níveis de tensão gerados pelos inversores para a tensão compatível com a rede da concessionária. É importante destacar que os transformadores devem ser selecionados de acordo com sua função e tipo de sistema que irá operar, sendo classificados de acordo com seu propósito específico.

2.1.7 ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

O aterramento de sistemas elétricos visa garantir o funcionamento correto da instalação proporcionando um caminho à terra caso ocorra eventos indesejáveis como surto, falta ou fuga da corrente elétrica, sendo necessário aterrar a carcaça de todos os equipamentos que constituem a UFV e a infraestrutura como alambrados, serpentinas e postes.

Diferentemente do sistema de aterramento, onde os equipamentos e elementos que conduzem eletricidade precisam estar obrigatoriamente em interligados e em contato com a terra, a equipotencialização visa garantir que toda a estrutura não energizada que compõe a usina esteja interligado a um ponto aterrado, formando assim a chamada malha de aterramento ou malha de equipotencialização, e é necessário garantir que toda parte metálica esteja eletricamente conectada e apresentando continuidade elétrica.

2.1.8 CABINES DE MÉDIA TENSÃO

Cabines de média tensão são a parte do projeto que faz a integração do sistema fotovoltaico de sua geração com o sistema de distribuição da concessionária local. As normas que regem sua concepção são as NBR 14039 – Instalações de Média Tensão, NBR 5419 – Proteção contra descargas atmosféricas, NBR 5410 – Instalação de Baixa Tensão, além de outras, é importante conhecer e entender as normas técnicas de fornecimento de energia, pois cada concessionária estabelece seus critérios e características sistêmicas que devem ser atendidas para uma operação segura.

O dimensionamento da cabine primária deve sempre considerar a capacidade de geração e de carga da UFV, portanto a configuração da cabine dependerá da concepção do projeto, as cabines são separadas por três setores, sendo eles:

- Medição
- Proteção
- Transformação

Imagem 6 - Quadro geral baixa tensão



Fonte: do Autor

Dependendo da capacidade da UFV a medição, proteção e transformação podem ser abrigados em uma mesma cabine, para usinas com capacidade superior a 1 MW normalmente o setor de transformação é separado dos setores de medição e proteção.

2.2 PARÂMETROS ELÉTRICOS

Os parâmetros elétricos dos sistemas fotovoltaicos que caracterizam os módulos fotovoltaicos são importantes para entendermos os teste e resultados que serão analisados durante o comissionamento da UFV como a curva I-V, tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, fator de forma, irradiância solar e eficiência.

2.2.1 CURVA I-V

A curva I-V nada mais é que a relação entre a tensão e a corrente na saída de um módulo ou strings de módulos, a análise da curva nos permite obter a eficiência do modulo ou string e determinar quais os principais problemas que possam prejudicar a eficiência do sistema como um todo. Para traçar a curva é utilizado um equipamento chamado Traçador de Curva I-V, com ele é possível que o usuário seja informado dos valores de corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e os valores de máxima potência do módulo ou string.

2.2.2 TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO (VOC)

A tensão de circuito aberto (V_{oc}) é a máxima tensão quando não há corrente circulando entre os terminais do módulo fotovoltaico, ou seja, é a tensão formada quando não há carga conectada à célula do painel. Os módulos fabricados de silício monocristalino possui valores entre 0,5 V e 0,7 V, enquanto os de silício amorfo variam entre 0,6 V e 0,9 V quando medidos por um voltímetro nos terminais do módulo.

A tensão de circuito aberto depende da corrente de saturação (I_0), da corrente elétrica foto gerada (I_l) e da temperatura, como na equação abaixo:

2.2.3 CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO (ISC)

A corrente de curto-circuito (I_{sc}) é a máxima corrente que se pode obter do módulo fotovoltaico quando a tensão em seus terminais é nula, ou seja, quando o módulo está curto circuitado, pode ser obtida através de um alicate amperímetro. A I_{sc} depende da área da célula fotovoltaica, da irradiância solar e de sua distribuição espectral.

2.2.4 PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (PMP)

O ponto de máxima potência (PMP) ou pela sigla em inglês MPP (*Maximum Power Point*) é onde ocorre a máxima transferência de potência da célula para a carga, localizado no joelho da Curva I-V, a combinação de tensão e corrente elétrica em razão da combinação desses valores surge a máxima transferência de potência no joelho da curvatura e possui valores chamados de V_{mp} (tensão de máxima potência) e I_{mp} (corrente de máxima potência), valores estimados com base na corrente de curto – circuito e tensão de circuito aberto, conforme a equação adaptada de (Goetzberger; Hoffmann, 2005).

$$V_{mp} \approx (0,75 - 0,90) \times V_{oc}$$

$$I_{mp} \approx (0,85 - 0,95) \times I_{sc}$$

Onde:

V_{mp} : Tensão de máxima potência;

V_{oc} : Tensão de circuito aberto;

I_{mp} : Corrente de máxima potência;

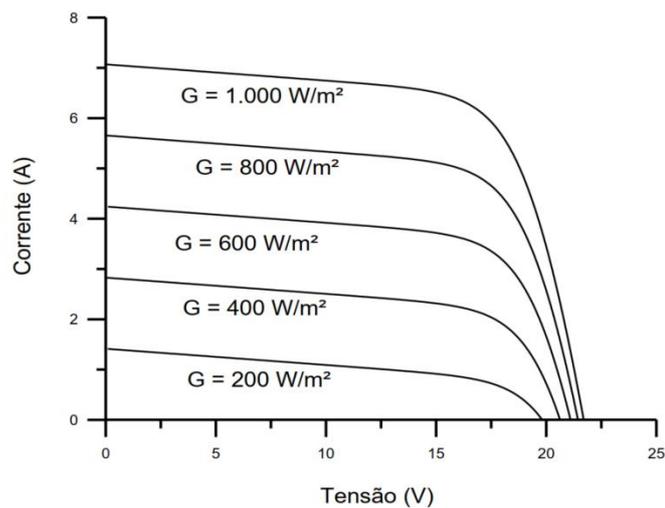
I_{sc} : Corrente de curto-circuito.

2.2.5 IRRADIÂNCIA SOLAR

A irradiância solar pode ser descrita como a densidade de energia solar que incide sobre uma determinada área ou superfície por unidade de tempo e em diferentes comprimentos de onda, ou seja, é a quantidade de energia do sol que incide sobre um plano a cada instante medida em Watt/m².

A corrente elétrica gerada pelo módulo é influenciada diretamente pela irradiância solar, a corrente de curto-circuito aumenta de forma linear, ela pode variar significativamente em curtos intervalos de tempo, principalmente em dias nublados.

Figura 1 - Relação da irradiância solar sobre corrente e tensão



Fonte: Adaptado de (Pinho, Galdino)

3 COMISSONAMENTO UFV ATLAS

A Usina Fotovoltaica Atlas, localizada em Uberaba, Minas Gerais, possui uma instalação de geração de energia elétrica por meio da tecnologia fotovoltaica. A capacidade total da usina é de 2.026,08 kWp/1.584 kW, o que a torna uma importante fonte de energia renovável. A instalação é composta por 6048 módulos fotovoltaicos, incluindo modelos BYD 335P6K-36-5B de 335 Wp e BYD360M6K-36-5B de 360 Wp. Esses módulos são responsáveis por converter a luz solar em energia elétrica. Além disso, a usina possui 288 strings, cada uma composta por 21 módulos conectados em série. Foram incluídos 24 inversores da marca Huawei - WEG, modelo SUN 2000-60KTL, com capacidade de 66 kW cada. Estes inversores são responsáveis por converterem a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, adequada para ser utilizada na rede elétrica.

A usina também possui 2 transformadores Romagnole de 1 MW cada, com tensões nominais de 13,8 kV/380-220 V.

Imagem 7 - Usina fotovoltaica Atlas



Fonte: do Autor

O processo de comissionamento tem como objetivo assegurar a segurança, a eficiência e a viabilidade operacional através de ações reguladas por normas técnicas, legislações, boas práticas de engenharia e requisitos do proprietário que validem o projeto, sua execução, os

equipamentos e os materiais empregados. Em outras palavras, o comissionamento é a verificação do trabalho realizado durante as fases do projeto executivo, com o intuito de identificar possíveis problemas que possam prejudicar a segurança pessoal e dos equipamentos.

O comissionamento é, geralmente, de responsabilidade do instalador, sendo recomendável que um agente fiscalizador do contratante acompanhe as inspeções e testes para evitar fraudes nos resultados. Deve ser elaborado um relatório que registre todas as medições e resultados dos testes, apontando as eventualidades que sejam relevantes à segurança e à operação dos equipamentos, baseado nas normas aplicáveis. É aconselhável que o comissionamento seja realizado seguindo uma ordem de testes definida de acordo com o manual ou plano de comissionamento do sistema em questão, que contém uma série de procedimentos. Este relatório deve ser entregue ao contratante ou fiscalizador para análise antes do início da operação. Empresas frequentemente incluem, como parte do relatório, formulários de *check-list* para registrar os procedimentos e para definir as tolerâncias aceitáveis dos testes realizados. (Pinho, Galdino, 2014).

Entre os benefícios de um comissionamento bem executado, estão:

- Diminuição do risco de paradas inesperadas;
- Garantia da qualidade do produto entregue ao proprietário;
- Evita riscos com alto impacto como incêndios, choques elétricos e baixo desempenho do sistema elétrico;
- Facilita a fase de operação e manutenção (O&M);
- Formaliza o fim da fase de execução e início da fase de operação do sistema.

A ABNT NBR 16274:2014 estabelece os requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. A norma é dividida em três focos principais, sendo elas:

- Requisitos de documentação – Informações mínimas de toda a instalação da UFV;
- Verificação – Indica a informação mínima que deve ser fornecida após a verificação inicial de um sistema, incluindo os requisitos mínimos para a inspeção e os ensaios de comissionamento;

- Avaliação de desempenho – Detalha os procedimentos mínimos para avaliar o desempenho de um SFCR após o início de sua operação e resultado dos testes de comissionamento.

3.1 INSPEÇÃO VISUAL DA UFV ATLAS

Segundo os requisitos da norma IEC 60364-6 a inspeção deve ser realizada antes dos ensaios de comissionamento e energização da instalação, confirmando que os equipamentos instalados conferem com os dados disponibilizados no projeto em número e características, conforme NBR 16274:2014.

A inspeção é subdividida em etapas, sendo:

- Inspeção do sistema C.C.;
- Proteção contra sobretensão e/ou choque elétrico;
- Inspeção do sistema C.A.;
- Etiquetagem e identificação;
- Instalação mecânica e civil.

3.1.1 PRÉ-REQUISITOS PARA A INSPEÇÃO VISUAL

Antes de iniciar a inspeção visual pela UFV é necessário alinhar uma série de pré-requisitos, como:

- Disponibilidade e conhecimento dos manuais de instalação de módulos, inversores e estruturas;
- Boas condições meteorológicas para iniciar o trabalho em campo aberto;
- Liberação do gerente de site;
- Uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletivos (EPCs), conforme estabelece as normas NR 6 e NR 10;
- Disponibilidade de materiais para registro escrito e fotográfico das atividades.

3.1.2 INSPEÇÃO ELÉTRICA C.C E C.A

Durante a inspeção elétrica os principais pontos a serem verificados conforme determina NBR 16274:2014 são:

- a) Os cabos dos módulos fotovoltaicos, os cabos dos arranjos fotovoltaicos e o cabo C.C. principal são apropriados para esta aplicação sob a máxima tensão do sistema e a máxima corrente de falta C.C.;
- b) Os cabos dos módulos fotovoltaicos, os cabos dos arranjos fotovoltaicos e o cabo C.C. principal estão montados de forma a minimizar o risco de faltas à terra e curto-circuito;
- c) Todos os cabos montados para resistir às influências externas esperadas tais como: temperatura, força do vento, chuva e principalmente a radiação solar;
- d) Os conectores MC4 estão acondicionados de maneira a estarem protegidos de influências externas esperadas tais como: temperatura, força do vento, chuva e radiação solar;
- e) O raio mínimo de curvatura dos condutores fotovoltaicos deve ser de 38,3 mm, principalmente próximos das caixas de junção dos módulos e conectores MC4;
- f) Identificação do posicionamento e especificação dos dispositivos de proteção contra sobrecorrentes, quando presentes;
- g) Para minimizar tensão induzidas por raios, a área de todos os laços na fiação foi mantida tão pequena quanto possível;
- h) Plugues e soquetes conectados entre si são do mesmo tipo e do mesmo fabricante;
- i) Existência de meios de desconexão e seccionamento adequados;
- j) Identificação, conforme o projeto dos inversores;
- k) Identificação dos condutores de C.A. dos inversores ao QGBT;
- l) Conexão, conforme especificado em projeto, dos cabos de interligação das mesas fotovoltaicas à malha de aterramento;
- m) Caixas de inspeção de aterramento desobstruídas e fácil acesso para visualização das conexões da malha;
- n) Separação física entre os condutores de circuitos C.C. e C.A.;

- o) Integridade e funcionalidade dos sistemas de monitoramento. Cabos e equipamentos devidamente instalado e configurado. O cabeamento deve estar totalmente separado dos circuitos de potência da usina;
- p) Integridade e funcionalidade do sistema de combate a incêndio da usina.

3.1.3 INSPEÇÃO MECÂNICA

Durante a inspeção mecânica os principais pontos a serem avaliados são:

- a) Integridade dos módulos fotovoltaicos;
- b) Integridade dos inversores;
- c) Integridade das conexões mecânicas da malha de aterramento;
- d) Posicionamento dos módulos fotovoltaicos de acordo com o projeto;
- e) Número de módulos instalados por mesa;
- f) Identificação das mesas e setores;
- g) Marca, modelo e potência dos módulos fotovoltaicos instalados;
- h) Posicionamento dos clamps dentro da faixa específica em relação as arestas dos módulos;
- i) Alinhamento entre módulos e mesas;
- j) Os materiais do arranjo fotovoltaico são à prova de corrosão;
- k) A armação do arranjo fotovoltaico estão devidamente fixados;
- l) As entradas de cabos são a prova de intempéries;
- m) Há ventilação por trás do arranjo fotovoltaico para evitar risco de superaquecimento.

3.1.4 INSPEÇÃO CIVIL

Durante a inspeção civil os principais pontos a serem verificados são:

- a) Integridade da base dos pilares das mesas fotovoltaicas;
- b) Integridade das bases da subestação e cubículos de transformação;
- c) Integridade das caixas de passagem;
- d) Tubulação dos condutores fotovoltaicos sob os módulos estão devidamente vedadas;
- e) Posicionamento e integridade dos itens de prevenção e combate a incêndio

3.2 ENSAIOS DE COMISSIONAMENTO

Os ensaios de comissionamento devem ser realizados conforme os requisitos da IEC 60364-6. Os instrumentos de medição, equipamentos de monitoramento e os métodos devem ser escolhidos com equivalência as series IEC 61557 e IEC 61010, caso outros equipamentos de medição são utilizados, eles devem fornecer um grau equivalente de desempenho e segurança, os métodos de ensaio descritos nas normas são fornecidos como referência e outros métodos não são descartáveis desde que forneçam resultados válidos.

Se ao decorrer dos testes de comissionamento algum ensaio indicar alguma falha, a inconformidade deve ser corrigida, todos os ensaios anteriores devem ser repetidos, caso o ensaio anterior possa ter influenciado nos resultados posteriores . (NBR 16274:2014).

3.3 ENSAIOS DE CATEGORIA 1

Os ensaios de categoria 1 consistem nos procedimentos mínimos necessários para garantir a operação segura da UFV tanto no âmbito pessoal quanto de equipamentos garantindo a qualidade do produto entregue ao proprietário.

3.3.1 ENSAIO DE CONTINUIDADE DA MALHA DE ATERRAMENTO

O ensaio de continuidade da malha de aterramento visa garantir a proteção dos equipamentos, estruturas e pessoas contra choques elétricos pelas partes condutoras, onde todos devem estar aterrados e igualados no mesmo potencial, ou seja, deve ser garantida a equipotencialização de todos os elementos na malha de aterramento.

Um equipamento de medição adequado deve ser utilizado durante o ensaio verificando a continuidade da ligação ao terminal de terra para todos os condutores.

Durante os testes em campo foi utilizado o miliohmímetro digital conforme figura 2, da marca/modelo Instrum – MILIOHM1 para obter os resultados de continuidade da malha de aterramento.

Figura 2 - Miliohmímetro digital



Fonte: instrumbrasil.com.br

Os pré requisitos para realizar este ensaio são:

- Condições climáticas adequadas para o trabalho em campo aberto;
- Liberação do gerente de site;
- Uso de equipamentos de proteção individual e coletivo;
- Materiais para registros escritos;
- Equipamentos adequados para o ensaio (miliohmímetro ou microohmímetro de quatro fios).

3.3.2 ENSAIO DE POLARIDADE E TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO

O ensaio de verificação de polaridade é realizado com multímetro desde que tenha tensão compatível com a série fotovoltaica a ser ensaiada e tem por finalidade garantir que os conectores foram instalados sem haver inversão de sua polaridade na série fotovoltaica para evitar possíveis danos nos módulos e nos diodos de by-pass.

Uma vez que as polaridades são verificadas e confirmadas, os cabos devem ser inspecionados para garantir que estão identificados e conectados corretamente aos sistemas.

O ensaio de tensão de circuito aberto deve ser executado com o mesmo multímetro no momento da medição da polaridade da série fotovoltaica para garantir a segurança e proteção do inversor. O ensaio consiste em medir e verificar a tensão de circuito aberto das séries fotovoltaicas nos conectores MC4 no inversor para garantir então que a tensão está compatível com o número de módulos que foram instalados nessa string.

Os pré requisitos para realizar o ensaio são:

- Condições climáticas adequadas para o trabalho em campo aberto;
- Irradiância mínima de 500 W/m²;
- Liberação do gerente de site;
- Uso de equipamentos de proteção individual e coletivos;
- Disponibilidade de materiais para registro escrito e fotográfico;
- Projeto elétrico com revisão atualizado (versão as-built aprovado);
- Dispositivo de bloqueio para a chave seccionadora do inversor;
- Multímetro com amperímetro CC com escala até 1500 Vcc;
- Equipamento para medição da temperatura PV e sensor de irradiância.

3.3.3 ENSAIO DE CURTO-CIRCUITO NAS SÉRIES FOTOVOLTAICAS

O propósito do ensaio de medição de corrente de curto-circuito de uma série fotovoltaica é identificar falhas graves nos condutores, a medição é realizada utilizando equipamento adequada para essa função, sendo considerado um teste de elevado risco ao operador, por isso é necessário seguir os procedimentos adequados para evitar possíveis acidentes, sendo indicado a ser realizado durante o ensaio de curva $I \times V$, conforme possibilidade descrita na própria NBR 16274:2014.

3.3.4 ENSAIO DA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO DOS CIRCUITOS C.C E C.A

O ensaio de resistência de isolamento dos circuitos C.C e C.A visa detectar possíveis falhas nos cabos que possam comprometer seu isolamento, este tipo de teste é de suma importância para a operação segura e eficiente da UFV.

O teste requer um procedimento de segurança correto, pois representa um alto risco de choque elétrico. Os procedimentos mais adequados são verificar se a passagem de corrente pelo condutor antes de desconectar a string do inversor utilizando um multímetro alicate, verificar o nível de tensão se ele apresenta valores compatíveis com o número de módulos em projeto, utilização de luvas isolantes e os EPI's necessários como óculos, capacete para eletricista, uniforme ATPV (antichama) e botas isolantes.

Pode ser realizado o teste durante momentos de baixa irradiância solar, por exemplo em dias nublados ou com alta umidade do ar, pois beneficiarão o teste, já que a resistência de isolamento apresentada através do equipamento sofre grande influência da umidade relativa do ar. Quanto maior a umidade relativa do ar, menor será o valor da resistência de isolamento dos condutores.

Figura 3 - Megômetro digital Instrum



Fonte: www.instrumbrasil.com

A aplicação para sistemas maiores como UFV's se dão por meio dos testes feitos diretamente nas strings conectadas nos inversores.

Os pré requisitos para o ensaio de isolamento dos condutores C.C e C.A são:

- Condições climáticas adequadas para trabalho em campo aberto;
- Umidade relativa do ar prioritariamente abaixo de 65% ou em caso especiais, caso não seja possível, abaixo de 80%;
- Liberação do gerente de site;
- Uso de equipamentos de proteção individual e coletivos;
- Disponibilidade de materiais para registro escrito e fotográfico;
- Projeto elétrico com revisão atualizada;
- Megômetro;
- Multímetro com escala de 1500 Vcc.

3.4 ENSAIOS DE CATEGORIA 2

Os ensaios de categoria 2 de acordo com a NBR 16274:2014 se destinam a sistemas maiores ou de grande complexidade como UFV's de geração distribuída ou centralizada, com sistemas de vários arranjos fotovoltaicos e conectados em média tensão.

O objetivo dos ensaios de categoria 2 visa garantir que os principais componentes da usina, principalmente módulos e inversores estejam em plena capacidade de funcionamento de acordo com suas características de fábrica, garantindo o desempenho da UFV conforme aprovado em seu projeto executivo.

Normalmente os ensaios de categoria 2 acontecem posteriormente aos ensaios de categoria 1, com a usina já em pleno funcionamento, também chamado de ensaio à quente.

3.4.1 ENSAIO DE CURVA I-V

A curva I-V é a curva que relaciona corrente e tensão elétrica em um módulo ou arranjo de módulos, os resultados obtidos na curva nos permite analisar o desempenho da UFV ou se ele apresenta falhas, pois ele fornece uma série de parâmetros.

O equipamento utilizado durante os ensaios conhecido como traçador de curva mede a corrente de curto-circuito (I_{sc}) e a tensão de circuito aberto (V_{oc}) do arranjo fotovoltaico, através de um sensor de irradiância e um sensor de temperatura ele é capaz de mensurar estes parâmetros elétricos, conseqüentemente a potência elétrica, nas Condições de Operação Normal (NOCT) obtidos em campo e nas Condições Padrão de Teste (STC) resultados de teste em laboratório sob condições específicas, corrigindo estes valores medidos (irradiância de 1000 W/m^2 e temperatura operacional de 25°C).

Os pré requisitos para realizar o ensaio de curva I-V são orientados pelas normas técnicas nacionais ou internacionais, mesmo que elas divergem em relação aos limites mínimos de irradiância durante a medição.

De acordo com a NBR 16274:2014 as medições devem ser realizadas em condições de irradiância de no mínimo 700 W/m^2 em relação ao plano dos módulos, ou seja, de acordo com a inclinação deles não sendo superior a $22,5^\circ$. Já a IEC 60904-1:2006 recomenda que a irradiância seja pelo menos 800 W/m^2 com variância de até 1% durante a medição, para que o teste de referência a STC seja válido. Já a IEC 60891:2010 recomenda que as medições sejam feitas com irradiância o mais próximo possível dos 1000 W/m^2 das STC com 2% de variação.

Para os pré requisitos sejam atendidos foi seguido os seguintes itens:

- Todos os ensaios de categoria 1 concluídos;
- Irradiância mínima aceita para as medições de 700 W/m²;
- Realizar três medições consecutivas em cada série fotovoltaica, com intervalos de 15 a 30 segundos;
- Condição climática favorável, sem presença de nuvens, neblinas ou fumaça, no intervalo a partir das 09:00 horas até 15:00 horas;
- Apresentar para cada série fotovoltaica um gráfico com as três curvas corrigidas para o STC;
- Módulos fotovoltaicos limpos para garantir a confiabilidade dos resultados;
- Uso de equipamentos de proteção individual e coletivos;
- Liberação do gerente de site;
- Traçador de curva IxV;
- Projeto elétrico atualizado (versão as-built aprovada);
- Multímetro amperímetro com escala 1500 Vcc;
- Fita aluminizada para fixar o sensor de temperatura PV.

A corrente elétrica em uma célula fotovoltaica pode ser considerada sendo a soma da corrente de uma junção pn no escuro (diodo semiconductor) com a corrente gerada pelos fótons absorvidos da radiação solar, está corrente relacionada com a tensão do dispositivo é considerada denominada curva I-V ou curva característica, segundo (Pinho 2014).

Abaixo está a equação derivada da Equação de Shockley, do diodo ideal:

$$I = I_l - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right]$$

Onde:

I_l – corrente foto gerada (A);

I_0 – corrente de saturação reversa do diodo (A);

n – fator de idealidade do diodo, número adimensional geralmente entre 1 e 2, obtido por ajuste de dados experimentais medidos;

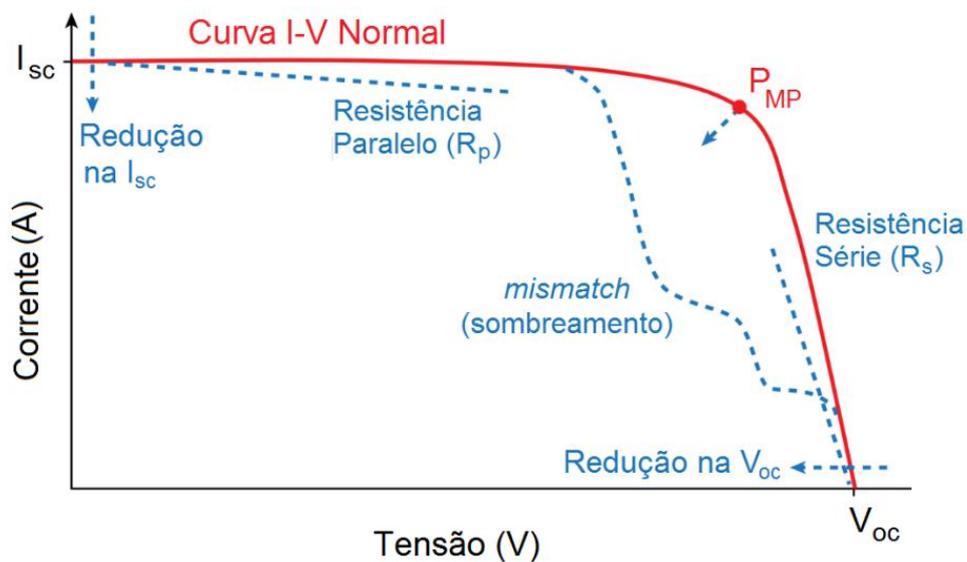
q – carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C);

k – constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K);

T – Temperatura absoluta.

A análise do comportamento da curva I-V é uma técnica fundamental para a avaliação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Ela permite obter informações relevantes sobre a eficiência e operação dos arranjos fotovoltaicos, incluindo identificação de falhas e anomalias nas células dos módulos. A figura 4 representativa da curva I-V resume as cinco irregularidades que podem ser observadas, sendo estas: aberturas, curtos-circuitos, resistência interna elevada, efetivação não linear e saturação da corrente.

Figura 4 - Principais anomalias de uma curva I-V



Fonte: Livro Manual de Engenharia, Galdino e Pinho

- Resistência série (R_s) – resulta de problemas nas interconexões elétricas internas de um módulo ou de problemas externos na fiação e conexões da fileira. As alterações na curva I-V causadas por R_s são análogas às mostradas na figura 4 e resultam em uma inclinação mais acentuada da curva entre V_{mp} e V_{oc} ;
- Resistência paralela (R_p) – resulta de defeitos internos em células. A alteração na curva I-V de um arranjo causada por R_p é análoga à mostrada na figura 4 e resulta em uma maior inclinação na curva em I_{sc} . Certos padrões de sombreamento ou distribuição de sujeira (não homogêneos) na superfície do módulo também podem causar o mesmo efeito na curva;
- Redução em I_{sc} – causada por sujeira sobre os módulos ou por sua degradação. É recomendado traçar a curva I-V antes e depois de realizar a limpeza dos arranjos para isolar o efeito da sujeira;

- Redução em V_{oc} – causada por temperatura elevada nos módulos, sua degradação ou curtos em diodos de by-pass também causam o mesmo efeito;
- Perdas por mismatch (descasamento) – podem resultar de várias causas, como sombreamento parcial, sujeira localizada, curtos em diodos de by-pass ou células/módulos degradados. O efeito é o surgimento de dentes ou degraus na curva I-V.

A análise da curva I-V é de extrema importância para garantir a segurança, eficiência e operabilidade dos sistemas fotovoltaicos, e sua realização deve ser baseada em normas técnicas e boas práticas de engenharia aplicáveis.

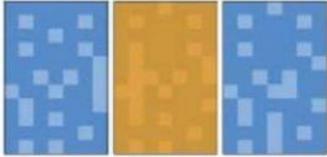
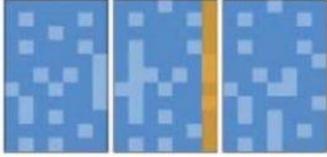
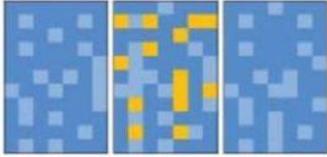
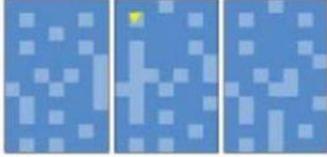
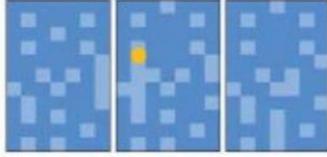
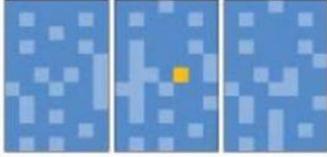
3.4.2 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA

A inspeção termográfica é uma etapa crucial na análise dos circuitos elétricos da Usina Fotovoltaica. O objetivo é identificar eventuais anomalias, geralmente manifestadas como dissipação de calor, através da utilização de uma câmera termográfica.

No âmbito dos sistemas fotovoltaicos, as principais questões encontradas incluem a presença de células defeituosas nos módulos, bem como problemas em diodos de by-pass, circuitos internos, conexões de solda, conectores MC4 mal instalados, QGBT's mal torquados ou com conexões instáveis, disjuntores, fusíveis, transformadores e seccionamentos que podem apresentar “pontos quentes” ou “*Hotspots*”, como pode ser observado na figura 5.

Na inspeção termográfica, equipamentos como cabines de seccionamento, QGBT's, transformadores e inversores da Usina são avaliados. As falhas mais comuns são decorrentes de más conexões de condutores na entrada e saída dos disjuntores, fusíveis, DPS, barramentos, problemas na crimpagem de conectores tipo MC4 na entrada dos inversores e falhas na ventilação dos inversores.

Figura 5 - Principais falhas de módulos fotovoltaicos

Tipo de anomalia térmica	Descrição	Possíveis defeitos
	O painel está sobreaquecido em relação aos vizinhos	O painel não está funcionando
	Fileira de células sobreaquecidas	Curto-circuito na string de células
	Padrão aleatório de células sobreaquecidas	O painel não está funcionando
	Sobreaquecimento parcial de uma célula	A célula está rompida
	Aquecimento em uma região específica com mais de uma célula	Células fissuradas ou outros defeitos
	Sobreaquecimento de uma célula específica	Defeito não determinado

Fonte: www.canalsolar.com.br

A NBR 16274:2014 estabelece diretrizes claras para realização de inspeção termográfica em sistemas fotovoltaicos. É exigido que o arranjo fotovoltaico esteja em operação normal e que a irradiância no plano do arranjo seja superior a 600 W/m^2 , a fim de garantir a percepção das diferenças de temperatura.

O uso da tecnologia de câmera termográfica tem se tornado uma prática comum na identificação de problemas em módulos fotovoltaicos, ajudando a detectar falhas como módulos desconectados, danos durante o transporte ou instalação, falhas em diodos de by-pass, rupturas em células individuais, entre outras questões relacionadas à fabricação.

A detecção dessas falhas é crucial para garantir a eficiência e a eficácia dos sistemas fotovoltaicos, pois as falhas podem impactar significativamente a geração de energia elétrica.

Portanto, a inspeção termográfica é uma etapa importante na manutenção dos sistemas fotovoltaicos e na garantia de sua performance ótima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de assegurar a qualidade e a confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos, é crucial realizar ensaios de comissionamento com regularidade. Neste contexto, o presente capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos a partir dos ensaios de comissionamento realizados na Usina Fotovoltaica Atlas. Além disso, serão apresentadas as constatações observadas durante o período de testes, bem como as boas práticas de engenharia adotadas no setor de energia fotovoltaica para garantir resultados satisfatórios.

Os ensaios de comissionamento são uma fase crucial na implementação de sistemas fotovoltaicos, pois permitem verificar se o sistema atende aos padrões técnicos e projetos. Esses ensaios são importantes para avaliar a eficiência e eficácia do sistema, identificar possíveis correções e identificar áreas de melhoria. É fundamental destacar que a realização periódica de ensaios de comissionamento é fundamental para garantir a qualidade e a confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos.

4.1 RESULTADOS DA INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual é uma etapa crucial no processo de comissionamento de usinas fotovoltaicas, que tem como objetivo principal verificar a conformidade do sistema em relação ao projeto original e às boas práticas de engenharia para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Conforme estabelecido pela NBR 16274:2014, a inspeção visual é uma etapa que precisa ser realizada antes da energização da usina fotovoltaica e preceder os ensaios de comissionamento.

Na inspeção visual, é crucial confirmar se todos os equipamentos da usina fotovoltaica estão de acordo com o projeto original em relação à quantidade e características. Esta verificação é fundamental para assegurar que o sistema fotovoltaico tenha sido instalado corretamente e esteja apto a atender às expectativas de performance.

4.1.1 INSPEÇÃO DO SISTEMA C.C

Durante a inspeção do sistema de corrente contínua da Usina Fotovoltaica Atlas, foram observadas algumas irregularidades que foram verificadas de acordo com as normas técnicas NBR 16274:2014, NBR 5419, NBR 5410, NBR 16690:2019 e NR10. A fim de assegurar a segurança, confiabilidade e os requisitos mínimos para uma correta instalação, a atenção foi dedicada especialmente aos itens 5.2 da NBR 16274:2014 e 7.2 da NBR 5410, como pode ser observado na tabela 1.

No decorrer da inspeção, foram identificados vários cabos mal instalados, o que não oferecia proteção contra falta à terra, curtos-circuitos e intempéries. Além disso, foram encontrados conectores de diferentes marcas e modelos conectados entre si, o que poderia trazer riscos ao sistema e afetar o desempenho da usina fotovoltaica, levando a possíveis faltas ou curtos-circuitos. Essas inconformidades são relevantes e devem ser corrigidas para garantir a eficiência e eficácia do sistema de corrente contínua da UFV Atlas.

Tabela 1- Check list para inspeção do sistema c.c

INSPEÇÃO DO SISTEMA C.C	PARECER
a) O sistema c.c foi projetado, especificado e instalado conforme os requisitos da série IEC 60364, em geral, e IEC 60364-7-712	
b) Todos os componentes c.c. São classificados para operação contínua em c.c. Sob a máxima tensão c.c. Do sistema e a máxima corrente c.c. de falta	
c) Proteção por isolamento classe II ou equivalente foi adotada no lado c.c.	
d) Os cabos das séries fotovoltaicas, os cabos dos arranjos fotovoltaicos e o cabo cc principal foram selecionados e montados de forma a minimizar o risco de faltas à terra e a curto-circuito	
e) Todos os cabos foram selecionados e montados para resistir às influências externas esperadas, como o vento, a formação de gelo, a temperatura e a radiação solar	
f) Nos sistemas sem dispositivo de proteção contra sobrecorrente nas séries fotovoltaicas, o valor máximo de sobrecorrente do módulo (Ir) é maior do que a corrente reversa possível, e os cabos das séries fotovoltaicas foram dimensionados para acomodar a corrente de falta máxima combinada das séries fotovoltaicas em paralelo	
g) Nos sistemas com dispositivo de proteção contra sobrecorrente nas séries fotovoltaicas, esse dispositivo foi corretamente posicionado e especificado conforme as instruções do fabricante para a proteção dos módulos fotovoltaicos	N/A
h) Meios de desconexão foram instalados nas séries fotovoltaicas e subarranjos fotovoltaicos segundo os requisitos da IEC 60364-7-712	
i) Uma chave c.c. Está instalada no lado c.c. do inversor	
j) Nos sistemas com diodos de bloqueio, a tensão reversa destes componentes está em conformidade com a IEC 60364-7-712	N/A
k) Se um dos condutores c.c. Está ligado à terra, há pelo menos separação simples entre os lados c.a. E c.c., e as ligações à terra foram construídas de modo a evitar corrosão	N/A
l) Plugues e soquetes conectados entre si são do mesmo tipo e do mesmo fabricante	
m) Quando um sistema fotovoltaico possuir conexão direta à terra no lado c.c. (aterramento funcional), um dispositivo de interrupção de falta à terra deve estar instalado segundo os requisitos da IEC 60364-7-712	N/A

Fonte: Adaptado da NBR 16274:2014

Durante uma inspeção na Usina Fotovoltaica Atlas, foi identificada algumas irregularidades nas instalações dos cabos fotovoltaicos. Foi observado que os cabos estavam em contato com as quinas da estrutura metálica, o que representa um risco para a segurança do sistema elétrico e para o funcionamento da usina.

Imagem 8 - Cabos C.C dispostos de forma irregular



Fonte: do Autor

Esse tipo de condição pode levar ao desgaste prematuro dos cabos e, em casos graves, à sua ruptura, o que pode afetar a continuidade do fornecimento de energia elétrica e representar um risco para a segurança das pessoas e do meio ambiente. Além disso, a instalação inadequada dos cabos pode comprometer a eficiência do sistema, resultando em uma perda significativa de energia elétrica.

A falta de organização e cuidado na instalação dos cabos fotovoltaicos como visto na imagem 8 pode resultar em graves consequências para a segurança e desempenho do sistema.

Diante disso, é fundamental que sejam tomadas medidas para corrigir essa falha na instalação dos cabos e garantir que o sistema fotovoltaico possa atender aos requisitos de segurança e performance esperados. Isso inclui a revisão da instalação dos cabos, a implementação de uma técnica adequada de amarração e gerenciamento dos cabos, bem como a revisão da integridade do sistema elétrico para evitar falhas e garantir a segurança e eficiência da Usina Fotovoltaica Atlas.

Imagem 9 - Cabos com amarração inadequada



Fonte: do Autor

A ausência de uma técnica adequada de amarração dos cabos e o gerenciamento inadequado, incluindo torções próximas à caixa de junção dos módulos como visto imagem 10, representam uma ameaça à integridade do sistema elétrico.

Imagem 9 - Cabos tensionados próximo a caixa de junção

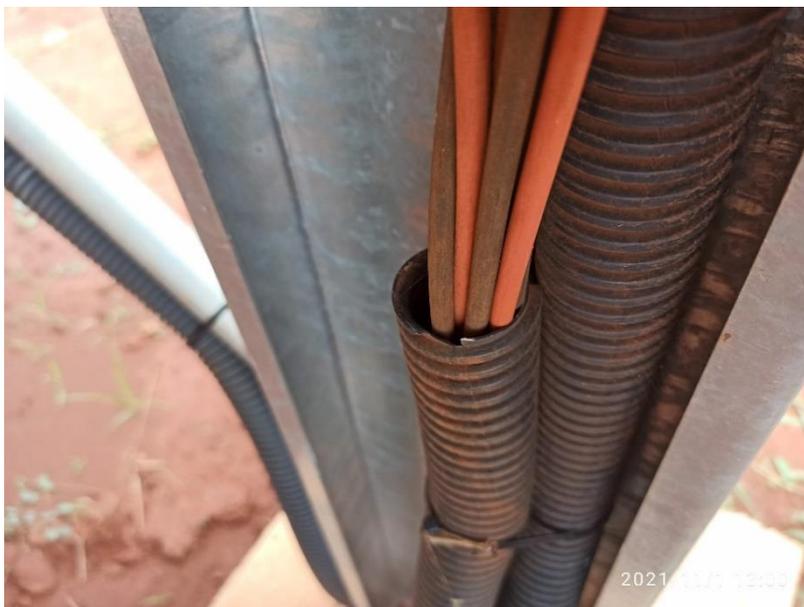


Fonte: do Autor

No decorrer da inspeção visual foram identificados conectores tipo MC4 expostos às condições climáticas adversas e eletrodutos sem vedação adequada ou com vedação insuficiente, o que pode resultar no acúmulo de água, sujeira e pequenos animais, afetando

negativamente a vida útil do sistema. É importante que essas falhas sejam corrigidas imediatamente para garantir a segurança e a eficiência do sistema fotovoltaico.

Imagem 11 - Eletroduto sem vedação



Fonte: do Autor

A norma técnica aplicável aos sistemas fotovoltaicos estabelece, em seu item "I" conforme indica a tabela 1, que não é permitido conectar plugues de conectores de diferentes marcas e modelos. No entanto, durante a inspeção na Usina Fotovoltaica Atlas, foi identificado o uso de conectores tipo MC4 de marcas e modelos diferentes conectados entre si, o que pode afetar negativamente a confiabilidade do sistema, como pode ser observado na imagem 12.

O uso de conectores da mesma marca garante a compatibilidade entre os componentes e a possibilidade de acessar a garantia dos fabricantes em caso de problemas no funcionamento da Usina Fotovoltaica. Portanto, é importante corrigir essa irregularidade para garantir a segurança e a eficiência do sistema fotovoltaico.

É fundamental seguir as normas técnicas estabelecidas para garantir a segurança e o desempenho adequado do sistema. As normas NBR 16274:1014, NR10 e NBR 5410 são referências importantes para o correto planejamento e execução da instalação, e seu cumprimento é fundamental.

Imagem 12 - Conector MC4 exposto a intempéries e de modelo diferente



Fonte: do Autor

Em conclusão, a falta de uma instalação adequada de cabos fotovoltaicos apresenta riscos graves para a segurança do sistema elétrico e pode comprometer o patrimônio da UFV. É fundamental que sejam adotadas medidas para corrigir essas irregularidades e garantir a eficiência e segurança do sistema.

4.1.2 INSPEÇÃO DO SISTEMA C.A

Durante a avaliação do sistema elétrico da Usina Fotovoltaica (UFV), verificou-se que o sistema de corrente alternada estava em conformidade com as normas técnicas relevantes, como a NBR 16274:1014, NR10 e NBR 5410. Entretanto, foi identificada a necessidade de melhoria na identificação dos condutores de corrente alternada nos quadros gerais de baixa tensão. É importante destacar que a separação adequada das fases do circuito é fundamental para garantir a segurança e o desempenho adequado do sistema elétrico da UFV.

Imagem 13 - Circuito C.A sem identificação das fases



Fonte: do Autor

A identificação do sistema de corrente alternada da Usina Fotovoltaica Atlas é uma medida importante para garantir a eficiência e segurança do sistema. A identificação clara e precisa dos condutores C.A dos quadros gerais de baixa tensão permite a separação de cada fase do circuito, o que é fundamental para a detecção e resolução de problemas no futuro. Essa informação essencial torna mais fácil para a equipe de manutenção e operação da UFV identificar e resolver eventuais problemas após a entrega da obra. A identificação adequada dos componentes do sistema fotovoltaico é crucial para garantir a confiabilidade e eficiência do sistema.

4.1.3 INSPEÇÃO CIVIL E MECÂNICA

Durante a inspeção civil e mecânica do sistema fotovoltaico, foi detectada a ausência de identificação adequada das fileiras nas estruturas metálicas. A falta de identificação adequada dos componentes da usina pode prejudicar o processo de operação e manutenção, tornando-o mais complicado e potencialmente prejudicando a performance e a segurança do sistema. É importante que medidas sejam tomadas para corrigir essa inconformidade, como por exemplo, a implementação de sistemas de identificação clara e eficiente. O processo de identificação adequado após o comissionamento do sistema fotovoltaico é apresentado na imagem 14.

Imagem 14 - Identificação da fileira e inversor na UFV



Fonte: do Autor

4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMISSONAMENTO

O processo de comissionamento é crucial na garantia da eficiência e segurança do sistema de geração de energia fotovoltaica. De acordo com as normas técnicas NBR 16274:2014 e IEC 60364-6, é necessário seguir todos os procedimentos previstos e utilizar equipamentos adequados para garantir a confiabilidade dos resultados. No entanto, não há impedimento em utilizar outros métodos, desde que apresentem um alto grau de confiabilidade e segurança.

Durante o comissionamento, é importante realizar todos os ensaios descritos na norma NBR 16274:2014 como referência. Caso sejam detectadas falhas na instalação, a empresa responsável pelo projeto deve ser notificada e os ensaios devem ser repetidos para verificar a correção das inconformidades. É fundamental garantir a qualidade da instalação para que a usina fotovoltaica possa operar com eficiência e segurança.

4.2.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE CONTINUIDADE DA MALHA DE ATERRAMENTO

O procedimento para medir a continuidade da malha de aterramento foi dividida em etapas onde foram determinados os pontos para verificar se a instalação está devidamente aterrada com o auxílio de um miliohmímetro digital da marca Instrum – MILIOHM1. O equipamento injeta uma pequena quantidade de corrente nos cabos, fazendo com que a demonstre em seu visor a leitura realizada da resistência que apresenta um determinado ponto.

A determinação dos pontos foram separadas da seguinte maneira:

- Entre módulos fotovoltaicos e suas mesas de suporte;
- Entre mesas de suporte e o anel de aterramento;
- Equipotencialização do aterramento das cercas;
- Equipotencialização dos condutores longitudinais;
- Equipotencialização das caixas de inspeção para os transformadores.

Figura 6 - Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade dos módulos

Entre os módulos e suas mesas de fixação					
N° Fileira	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	Ponto C-D (mΩ)	Parecer	Observações
1	7,3	APROVADO	7,1	APROVADO	
2	8,2	APROVADO	8,3	APROVADO	
3	7,4	APROVADO	7,5	APROVADO	
4	6,3	APROVADO	6,5	APROVADO	
5	5,1	APROVADO	5,1	APROVADO	
6	5,8	APROVADO	5,9	APROVADO	
7	6,8	APROVADO	6,4	APROVADO	
8	6,3	APROVADO	6,7	APROVADO	
9	6,7	APROVADO	6,8	APROVADO	
10	7,5	APROVADO	7,7	APROVADO	
11	8,8	APROVADO	9,4	APROVADO	
12	7,9	APROVADO	7,7	APROVADO	
13	7,6	APROVADO	7,6	APROVADO	
14	6,3	APROVADO	7,7	APROVADO	
15	8,8	APROVADO	7,1	APROVADO	
16	8,9	APROVADO	5,1	APROVADO	
17	9,6	APROVADO	6,7	APROVADO	
18	6,6	APROVADO	7,6	APROVADO	
19	7,5	APROVADO	6,9	APROVADO	
20	6,8	APROVADO	7,4	APROVADO	
21	7,3	APROVADO	8,8	APROVADO	
22	8,9	APROVADO	8,4	APROVADO	
23	8,5	APROVADO	9,1	APROVADO	
24	9,3	APROVADO	9,2	APROVADO	

Fonte: do Autor

A Usina Fotovoltaica Atlas apresenta 24 fileiras que foram submetidas a quatro medições, cada uma. As posições A-B representam a localização do eletrodo do miliohmímetro onde há a ruptura da camada de ânodo devido ao uso do grampo de fixação dos módulos na estrutura, denominado "End Clamp" como indica a imagem 15. Já a posição B indica a localização do segundo eletrodo do miliohmímetro no pilar da estrutura de fixação. A avaliação dos resultados indicou a ausência de falhas, com todos os resultados sendo considerados satisfatórios.

Figura 7 – Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade entre as mesas

Continuidade elétrica entre mesas da mesma fileiras						
N° Fileira	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	N° Fileira	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	Observações
1	8,1	APROVADO	17	7,6	APROVADO	Fila de grampo a grampo com os módulos no inicio
2	7,5	APROVADO	18	7,6	APROVADO	
3	9,2	APROVADO	19	8,1	APROVADO	
4	8,7	APROVADO	20	7,3	APROVADO	
5	8,4	APROVADO	21	7,1	APROVADO	
6	7,7	APROVADO	22	7,4	APROVADO	
7	7,4	APROVADO	23	7,7	APROVADO	
8	7,0	APROVADO	24	6,1	APROVADO	
9	9,7	APROVADO				
10	12,1	APROVADO				
11	19,5	APROVADO				
12	12,7	APROVADO				
13	6,6	APROVADO				
14	11,6	APROVADO				
15	6,6	APROVADO				
16	9,2	APROVADO				

Fonte: do Autor

Imagem 15 - Medição de continuidade no "End Clamp" do módulo



Fonte: do Autor

Em continuidade às verificações, foi realizada a medição da continuidade elétrica entre as mesas de cada fileira da usina fotovoltaica (UFV). Foram verificadas 24 fileiras, totalizando 24 medições. Os resultados obtidos foram satisfatórios, não sendo identificada nenhuma falha na malha de aterramento. A realização dessas medições é importante para garantir a integridade e eficiência do sistema de proteção elétrico da UFV.

Figura 8 - Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade do cercamento

Continuidade elétrica entre mesas de fixação e cercas					
Nº Fileira	Grampo - Cerca (mΩ)	Parecer	Estrutura - Cerca (mΩ)	Parecer	Observações
24	-		-		Sem conexão entre Mesa e Cerca
23	65,0	APROVADO	65,4	APROVADO	
17	75,0	APROVADO	76,1	APROVADO	
13	-		-		Sem conexão entre Mesa e Cerca

Fonte: do Autor

A verificação da continuidade elétrica das mesas para o cercamento do perímetro da UFV foi realizada de acordo com os procedimentos descritos nas normas técnicas relevantes. Durante o processo, foram feitas medições em 3 mesas arbitrárias com o auxílio de um miliohmímetro. Infelizmente, foram encontradas duas inconformidades, onde dois pontos de medição não apresentaram continuidade elétrica. Este resultado indica a necessidade de correção por parte da empresa responsável pela implantação da UFV, para garantir o

funcionamento adequado da usina e a segurança das pessoas envolvidas. A correção destas inconformidades é importante para garantir a qualidade da instalação elétrica e evitar problemas futuros.

Figura 9 - Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade longitudinais

Condutores que cortam longitudinalmente a UFV					
Nº Fileira	Estrutura - Grampo (mΩ)	Parecer			Observações
M1 - M12	122,2	APROVADO			
M12 - M21	78,2	APROVADO			
M12 - M17	47,1	APROVADO			
M17 - M24	84,8	APROVADO			

Fonte: do Autor

A avaliação dos condutores longitudinais da usina fotovoltaica (UFV) foi realizada com o objetivo de verificar a continuidade elétrica da instalação. Para isso, foram selecionadas três mesas que representavam o início, meio e fim da UFV. Os resultados obtidos foram satisfatórios, indicando que a continuidade elétrica dos condutores longitudinais está de acordo com os requisitos técnicos estabelecidos em projeto.

Foram realizadas medições para verificar o sistema de aterramento dos transformadores e alambrados que o cercam como pode ser observado na figura 10. A medição foi efetuada com o uso de um miliohmímetro na caixa de inspeção do aterramento. Todos os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, não sendo identificadas quaisquer inconformidades.

Figura 10 - Dados obtidos da tabela de ensaio de continuidade dos pontos auxiliares

Pontos auxiliares para medição da continuidade elétrica					
Pontos da medição	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	Ponto C-D (mΩ)	Parecer	Observações
Trafo1-Alambr1	0,13	APROVADO			Extremidade
Trafo1-Alambr2	10,4	APROVADO			Meio
Trafo1-Alambr3	24,2	APROVADO			Conexão
Trafo2-Haste-1	14,8	APROVADO			Extremidade
Trafo2-Haste-2	10,9	APROVADO			Meio
Trafo2-Haste-3	0,14	APROVADO			Conexão

Fonte: do Autor

Em conclusão, os resultados obtidos durante as medições foram satisfatórios e de acordo com as normas técnicas estabelecidas pela NBR 16274:2014. É importante destacar que de acordo com esta norma, os valores medidos não devem ultrapassar 1 ohm, e todos os resultados obtidos estavam dentro deste limite, indicando que o sistema de aterramento da usina está adequado e em conformidade. Portanto, pode-se afirmar que todos os testes realizados foram bem-sucedidos e apresentaram resultados satisfatórios.

4.2.2 RESULTADOS ENSAIO DE POLARIDADE DE CIRCUITO ABERTO (VOC)

A NBR 16274:2014 determina que a polaridade dos condutores C.C deve ser verificada utilizando um equipamento de ensaio adequado, uma vez que a polaridade é verificada os cabos devem estar identificados e conectados corretamente aos inversores.

O equipamento mais comum para se verificar a polaridade é o multímetro com escala acima de 1000 Vcc, especificamente a maioria das grandes usinas os cabos C.C podem atingir até 1500 Vcc.

Caso for verificada polaridade invertida em uma série fotovoltaica energizada, é importante analisar se essa inversão não causou quaisquer danos aos módulos ou diodos de by-pass.

O ensaio é realizado com multímetro e verificado a tensão de circuito aberto nas strings conectadas ao inversor, buscando identificar se não houve inversão de fases no sistema, se o nível de tensão apresentado no equipamento condiz com o número de módulos especificado em projeto. Este ensaio é refeito durante os ensaios de curva I-V que será apresentado neste trabalho posteriormente.

A tensão de uma série fotovoltaica é afetada diretamente pela temperatura dos módulos, sendo assim, o valor medido pelo multímetro deve ser corrigido pelo coeficiente térmico de queda de tensão (α) dos módulos através da equação:

$$VOC_{corrigida} = VOC_{medida} - [\alpha \times (T_{medida} - 45^{\circ}C) \times VOC_{nominal}]$$

Onde:

- $VOC_{corrigida}$: Tensão de circuito aberto corrigida para os parâmetros de NOCT (Normal Operating Cell Temperature);
- VOC_{medida} <: Valor de tensão medida através do multímetro;
- α : Coeficiente térmico de queda de tensão do módulo. Este valor está presente na folha de dados do módulo fotovoltaico utilizando;
- T_{medida} : Temperatura medida nas células dos módulos;
- $VOC_{nominal}$: Valor da tensão de circuito aberto nominal dos módulos multiplicado pelo número total de módulos na série fotovoltaica.

A tabela 2 indica os valores e critérios de aceitação:

Tabela 2 - Parâmetros de Voc e critérios de aceitação

Valores de tensão	Critério
$Voc_{corrigida} < 95\% Voc_{nominal} < Voc_{nominal}$	Inaceitável
$95\% Voc_{nominal} < Voc_{corrigida} \leq 105\% Voc_{nominal}$	Valores esperados
$Voc_{corrigida} > 105\% Voc_{nominal}$	Inaceitável

Na figura 11 pode ser observado os dados do segundo inversor conectado no transformador 1, observando os resultados temos que a tensão medida de Voc satisfatória, os testes foram realizados conforme os pré requisitos com irradiância acima de 500 W/m², boas condições meteorológicas, temperatura e umidade do ar.

Todas as medições de todos os 24 inversores da UFV deram polaridade positiva, o que demonstra que não houve inversão de fases na usina.

Figura 11 – Dados obtidos da tabela de ensaio Voc

STRING	Irr (W/m ²)	Temp. Módulo (°C)	N° Módulos STRING	Polaridade (+ -)	Voc medida (V)	Voc corrigida (V)	Voc corrigida (%Voc NOCT)	Avaliação (APROVADO/REPROVADO)
TE01_INV02_STR01	910	61	21	+	846	895	97,52	APROVADO
TE01_INV02_STR02	917	60	21	+	849	895	97,51	APROVADO
TE01_INV02_STR03	923	60	21	+	846	892	97,19	APROVADO
TE01_INV02_STR04	902	61	21	+	842	891	97,08	APROVADO
TE01_INV02_STR05	922	61	21	+	842	891	97,08	APROVADO
TE01_INV02_STR06	926	62	21	+	842	894	97,42	APROVADO
TE01_INV02_STR07	912	60	21	+	843	889	96,86	APROVADO
TE01_INV02_STR08	824	59	21	+	844	887	96,64	APROVADO
TE01_INV02_STR09	916	57	21	+	853	890	96,95	APROVADO
TE01_INV02_STR10	909	58	21	+	845	885	96,41	APROVADO
TE01_INV02_STR11	919	60	21	+	849	895	97,51	APROVADO
TE01_INV02_STR12	908	60	21	+	849	895	97,51	APROVADO

Fonte: do Autor

4.2.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO C.C

O ensaio foi realizado com o objetivo de determinar a resistência de isolamento das strings de um determinado inversor. O procedimento utilizado foi descrito na norma NBR 16274:2014, na qual foi curto-circuitado os polos das strings e aplicada 1 kV de tensão C.C durante 60 segundos com o uso de um megômetro digital. Além disso, foram registrados os valores de temperatura ambiente e umidade relativa do ar com o auxílio de um termo-higrômetro.

A análise dos resultados obtidos indicou que a resistência de isolamento das strings foi adequada, sendo que valores acima de 1 M Ω foram classificados como satisfatórios, conforme estabelecido pela NBR 16274:2014.

O teste foi realizado com o uso de uma megômetro digital da marca Instrum, nele foi aplicado 1 kV de tensão C.C, durante 60 segundos, a norma indica que valores acima de 1 M Ω estão aprovados, porém é sempre bom observar em comparação com outros resultados, pois mesmo os cabos apresentando valores acima do que a norma especifica, deve-se sempre levar em consideração o valor comparado com os demais.

Como pode ser observado na figura 12, foi constatado que a string 6 do inversor 22 apresentou valor de resistência de isolamento abaixo do esperado, indicando a existência de possíveis pontos de vazamento de corrente.

Figura 12 - Dados obtidos da tabela de ensaio de resistência de isolamento c.c

Dados dos ensaios					
PRODUTIVIDADE	Data	Hora		Data	Hora
Início:	05/out	15:38	Término:	05/out	16:05
STRING	RSIO String (M Ω)	Avaliação STRING	Temp. Amb. (°C)	UMID. REL (%)	Observação
TE02_INV22_STR01	398	APROVADO	34,2	35	
TE02_INV22_STR02	306	APROVADO	34,2	36	
TE02_INV22_STR03	447	APROVADO	34,2	35	
TE02_INV22_STR04	409	APROVADO	34,2	36	
TE02_INV22_STR05	400	APROVADO	34,2	36	
TE02_INV22_STR06	0,2	REPROVADO	34,1	36	
TE02_INV22_STR07	409	APROVADO	33,5	38	
TE02_INV22_STR08	262	APROVADO	33,8	37	
TE02_INV22_STR09	432	APROVADO	33,5	38	
TE02_INV22_STR10	40,2	APROVADO	33,4	39	
TE02_INV22_STR11	344	APROVADO	33,2	38	
TE02_INV22_STR12	376	APROVADO	33,2	38	
Observações					
A string 06 do INV22 apresentou valor de resistência de isolamento muito abaixo do especificado pela NBR 16274, indicando falha no seu isolamento. Vale salientar que o vazamento pode ter sua origem nos cabos CC principais (pretos e vermelhos) ou nas próprios módulos (cabos ou caixas de junção).					

Fonte: do Autor

Torna-se necessária a identificação do ponto de falha, que pode estar localizado nos cabos ou nas placas. É fundamental realizar a correção desse problema, a fim de garantir a eficiência e a segurança do sistema elétrico. Os dados obtidos do sistema de monitoramento do

inversor confirma o problema detectado, uma vez que a string em questão não está apresentando corrente, como pode ser observado na figura 13.

Figura 13 - Dados extraídos do inversor 22

PV Voltage(V)			
PV1	PV2	PV3	PV4
755.6	755.6	732.5	732.5
PV5	PV6	PV7	PV8
769.2	769.2	758.8	758.8
PV9	PV10	PV11	PV12
751.4	751.4	758.8	758.8

PV Current(A)			
PV1	PV2	PV3	PV4
1.34	1.49	1.34	1.52
PV5	PV6	PV7	PV8
1.19	0.00	1.27	1.39
PV9	PV10	PV11	PV12
1.30	1.49	3.08	3.14

Power grid voltage(V)		
Ua	Ub	Uc
228.3	228.3	226.3

Power grid current(A)		
Ia	Ib	Ic
20.420	20.415	20.381

Fonte: do Autor

4.2.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO C.A

O objetivo deste ensaio é avaliar a condutividade elétrica dos cabos de corrente alternada (C.A) que se conectam do inversor ao Quadro de Baixa Tensão (QGBT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Para realizar a avaliação, foi aplicada uma tensão de corrente contínua (C.C) de 1 kV durante 60 segundos, utilizando um megômetro digital. Além disso, foram registrados os valores de temperatura ambiente e umidade relativa do ar, com o auxílio de um termo-higrômetro.

Os resultados deste ensaio foram avaliados de acordo com a norma NBR 5410, segundo a qual, valores superiores a 0,5 M Ω são considerados adequados. A avaliação dos cabos de corrente alternada é crucial para garantir a segurança e a eficiência da instalação elétrica, bem como para assegurar o funcionamento correto dos equipamentos conectados. Portanto, a realização deste tipo de ensaio é fundamental para o sucesso e a qualidade do projeto.

O ensaio deve ser realizado com a seguinte sequência:

- FASE R/ TERRA;
- FASE S/ TERRA;
- FASE T/ TERRA;

- FASE R/ FASE S;
- FASE R/ FASE T;
- FASE S/ FASE T.

Os resultados dos ensaios de resistência de isolamento dos cabos de corrente alternada (CA) dos inversores 1 e 23 apresentaram valores abaixo do estabelecido pela norma NBR 5410, o que pode indicar a existência de pontos de vazamento de corrente. Além disso, os valores de resistência de isolamento dos cabos CA dos inversores 6 e 14 apresentaram resultados bem abaixo do valor típico (superior a 1 GΩ), embora não tenham transgredido o limite estabelecido pela norma.

É importante destacar que os ensaios foram realizados em condições de baixa umidade relativa do ar. Em situações de maior umidade, principalmente durante períodos de chuva, os valores de resistência de isolamento podem ser ainda mais baixos. Diante destes resultados, é necessário substituir os cabos CA com resistência de isolamento insuficiente dos inversores 1 e 23 e é recomendável trocar os cabos CA dos inversores 6 e 14, a fim de garantir a segurança e a eficiência da instalação elétrica.

Figura 14 - Dados obtidos da tabela de ensaio de resistência de isolamento c.a

CABOS	RISO polo (+) (MΩ)	Avaliação (Aprov./Reprov.)	Temp. Amb. (°C)	UMID. REL (%)	Conexão Torqueada
TE01_INV01 Fase R/Terra	7500	APROVADO	34,6	36	OK
TE01_INV01 Fase S/Terra	3700	APROVADO	34,2	36	OK
TE01_INV01 Fase T/Terra	5500	APROVADO	34,6	35	OK
TE01_INV01 Fase R/Fase S	12200	APROVADO	34,6	34	OK
TE01_INV01 Fase R/Fase T	12700	APROVADO	34,6	35	OK
TE01_INV01 Fase S/Fase T	8200	APROVADO	34,5	36	OK
TE01_INV02 Fase R/Terra	30000	APROVADO	33,8	30	OK
TE01_INV02 Fase S/Terra	28000	APROVADO	33,8	32	OK
TE01_INV02 Fase T/Terra	34000	APROVADO	33,8	32	OK
TE01_INV02 Fase R/Fase S	77000	APROVADO	33,5	33	OK
TE01_INV02 Fase R/Fase T	70000	APROVADO	33,6	33	OK
TE01_INV02 Fase S/Fase T	52000	APROVADO	33,4	33	OK
TE01_INV03 Fase R/Terra	33000	APROVADO	33,4	35	OK
TE01_INV03 Fase S/Terra	38000	APROVADO	33,4	35	OK
TE01_INV03 Fase T/Terra	34000	APROVADO	33,6	36	OK
TE01_INV03 Fase R/Fase S	82000	APROVADO	33,6	34	OK
TE01_INV03 Fase R/Fase T	94000	APROVADO	33,6	35	OK
TE01_INV03 Fase S/Fase T	90000	APROVADO	33,4	35	OK
TE01_INV04 Fase R/Terra	32000	APROVADO	33,9	36	OK
TE01_INV04 Fase S/Terra	11000	APROVADO	33,6	36	OK
TE01_INV04 Fase T/Terra	32000	APROVADO	33,7	39	OK
TE01_INV04 Fase R/Fase S	67000	APROVADO	33,5	38	OK
TE01_INV04 Fase R/Fase T	56000	APROVADO	33,5	38	OK
TE01_INV04 Fase S/Fase T	21000	APROVADO	33,5	37	OK

Fonte: do Autor

Em conclusão, a realização de ensaios elétricos é uma atividade vital para garantir a qualidade e a integridade dos sistemas elétricos, bem como para assegurar seu funcionamento adequado. Estes ensaios permitem detectar possíveis problemas e corrigi-los antes que causem danos mais graves e prejudiquem o funcionamento dos equipamentos. Além disso, é importante destacar a importância da realização de avaliações periódicas dos cabos elétricos para preservar a segurança e a eficiência do sistema.

A realização da etapa do comissionamento de categoria 2 é fundamental para assegurar o funcionamento adequado do sistema fotovoltaico energizado. É importante destacar a importância da realização cuidadosa e profissional de todas as etapas do comissionamento para garantir a eficiência e a segurança do sistema. A verificação dos resultados obtidos nesta etapa é crucial para o sucesso e o desempenho a longo prazo do sistema fotovoltaico.

4.2.5 RESULTADOS DO ENSAIO DE CURVA I-V

A curva I-V, uma representação gráfica da relação entre corrente elétrica e tensão em módulos ou conjuntos de módulos fotovoltaicos. Esta curva é fundamental para a identificação de problemas no funcionamento dos painéis fotovoltaicos, incluindo fissuras, sujeira, sombreamento entre outros.

Para a realizar o levantamento de dados, foi utilizado o traçador de curva I-V Solmetric PVA, que é capaz de levantar todos os pontos de operação dos módulos fotovoltaicos, desde o circuito aberto até o ponto de curto-circuito. Desta forma, este ensaio pode substituir os ensaios de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito, típicos do comissionamento de Categoria 1.

Para realizar o ensaio, é necessário posicionar o sensor de irradiância e temperatura PV sob o módulo, considerando a inclinação deste em relação ao posicionamento solar. Com estas informações, é possível obter uma curva I-V precisa e confiável, que permitirá a detecção de eventuais problemas nos painéis fotovoltaicos.

A posição do sensor foi estratégica para a realização do ensaio, uma vez que permitiu iniciar a avaliação da performance das strings fotovoltaicas, desconectadas do inversor. A curva de desempenho I-V obtida fornece informações sobre a potência dos módulos na região de ponto de máxima potência (Pmp), onde o inversor é responsável por extrair a potência máxima dos módulos. O Pmp é identificado pela região da curva I-V em que ocorre a maior interação entre a corrente elétrica e a tensão elétrica nos módulos fotovoltaicos.

Dessa forma, a curva IV é uma importante ferramenta para detectar possíveis problemas nos sistemas fotovoltaicos e para avaliar sua performance.

Imagem 16 - Sensor de irradiância e temperatura posicionados para medição



Fonte: do Autor

A imagem 17 apresenta a execução do ensaio no local, com o traçador de curva IV conectado em uma string do inversor. Com o auxílio de um computador portátil, é possível realizar a avaliação da curva.

As curvas de tensão e corrente medidas na UFV Atlas são corrigidas para as condições padrão de teste (STC, em inglês), a fim de verificar os parâmetros nominais das placas fotovoltaicas. A correção para as STC é efetuada através da adequação dos valores de tensão e corrente medidos para a irradiância e temperatura de 1000W/m^2 e 25°C , respectivamente. Esta correção é necessária para estabelecer uma mesma condição de irradiância e temperatura para todos os módulos, pois estes dois parâmetros variam ao longo do dia, do local e do ano. As análises referentes à conformidade das strings fotovoltaicas são realizadas avaliando, além da forma da curva, os seguintes parâmetros: tensão em circuito aberto (V_{oc}), corrente de curto-circuito (I_{sc}), tensão no ponto de máxima potência (V_{mp}), corrente no ponto de máxima potência (I_{mp}), potência no ponto de máxima potência (P_{mp}) e fator de potência (FF).

Imagem 17 - Ensaio de curva I-V



Fonte: do Autor

A eficiência média de todas as strings de painéis fotovoltaicos da UFV foi medida como 93,29%, considerando-se as condições sob as quais as curvas foram coletadas. No entanto, ao considerar a perda de potência nos cabos, a performance do sistema CC foi estimada em 92,74%. A figura 16 apresenta os dados obtidos através do software do traçador de curva I-V Solmetric PVA para todos os 24 inversores testados em condições climáticas estáveis. A representação visual dos dados, através da cor, permite identificar a eficiência dos inversores, sendo o verde representativo da performance mais eficiente, o amarelo intermediário e o vermelho indicando desempenho abaixo do esperado.

Figura 15 - Desempenho da UFV durante o ensaio de curva I-V

	TE01-INV01	TE01-INV02	TE01-INV03	TE01-INV04	TE01-INV05	TE01-INV06	TE01-INV07	TE01-INV08	TE01-INV09	TE01-INV10	TE01-INV11	TE01-INV12
STR01	92.68%	91.53%	94.53%	93.75%	97.37%	99.46%	98.09%	99.21%	102.67%	95.63%	94.61%	95.06%
STR02	91.71%	90.76%	93.36%	94.91%	95.69%	97.43%	97.43%	97.69%	102.81%	97.88%	97.63%	90.00%
STR03	90.72%	90.83%	93.20%	93.61%	97.18%	97.68%	99.28%	100.43%	102.72%	96.81%	93.48%	91.68%
STR04	90.28%	90.51%	92.18%	93.54%	96.49%	96.28%	96.90%	101.39%	100.63%	94.50%	95.44%	95.16%
STR05	88.91%	90.60%	93.25%	93.85%	93.16%	96.84%	98.79%	98.26%	102.73%	95.14%	91.74%	93.33%
STR06	91.25%	89.81%	91.52%	92.68%	95.61%	96.49%	96.47%	100.27%	99.91%	87.64%	93.43%	95.41%
STR07	92.22%	91.21%	94.10%	94.59%	95.98%	98.32%	98.20%	100.59%	101.07%	95.05%	93.15%	97.53%
STR08	90.94%	90.96%	92.33%	93.14%	95.80%	97.43%	96.18%	100.28%	100.87%	92.35%	91.58%	89.27%
STR09	97.12%	92.32%	92.92%	95.07%	97.32%	98.85%	98.88%	99.14%	100.81%	95.76%	95.51%	87.68%
STR10	95.84%	91.81%	92.66%	93.62%	97.78%	95.69%	96.52%	99.20%	100.48%	91.69%	93.88%	97.28%
STR11	91.26%	93.39%	92.64%	94.06%	96.21%	97.55%	95.99%	98.91%	100.32%	93.68%	93.78%	89.49%
STR12	90.36%	92.71%	92.56%	94.20%	96.88%	95.16%	96.76%	96.89%	98.44%	92.11%	93.03%	87.34%
Média	91.94%	91.37%	92.94%	93.92%	96.29%	97.26%	97.46%	99.36%	101.12%	94.02%	93.94%	92.44%

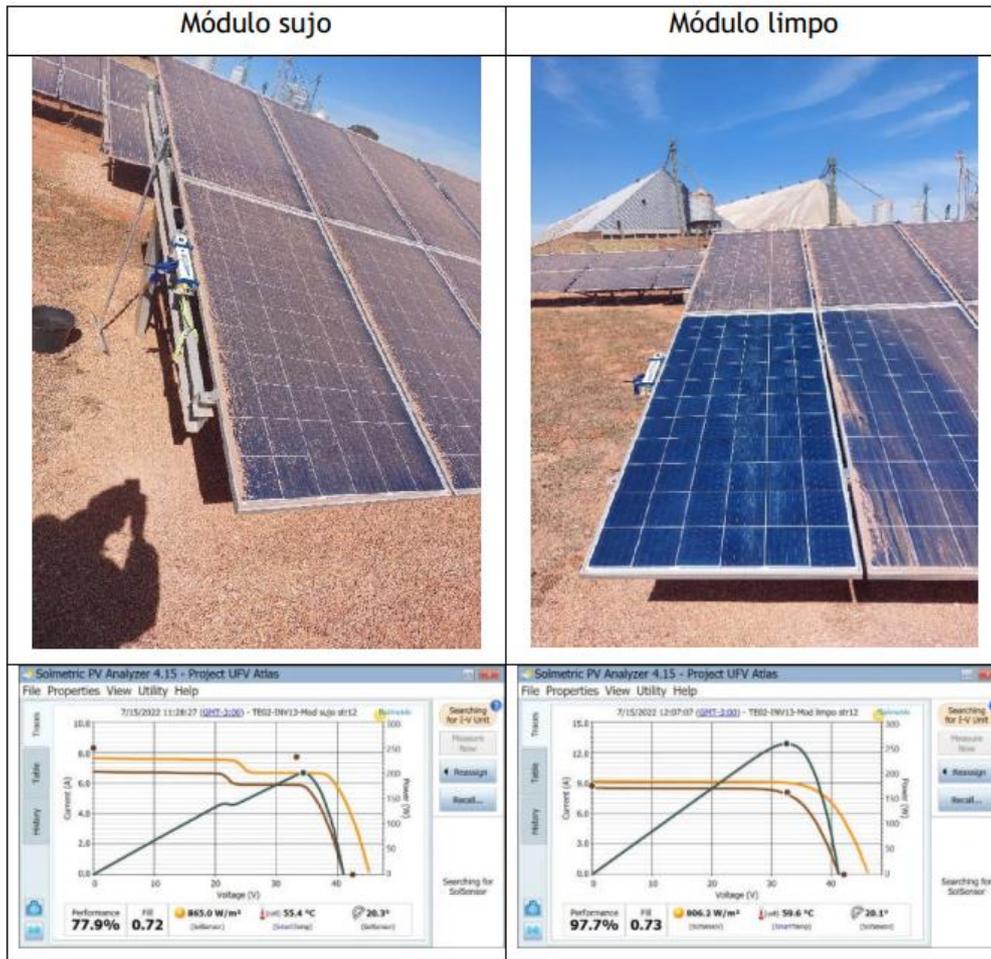
	TE02-INV13	TE02-INV14	TE02-INV15	TE02-INV16	TE02-INV17	TE02-INV18	TE02-INV19	TE02-INV20	TE02-INV21	TE02-INV22	TE02-INV23	TE02-INV24
STR01	96.76%	95.62%	93.91%	89.36%	90.80%	88.67%	92.26%	95.94%	91.44%	92.75%	91.99%	93.99%
STR02	97.48%	97.84%	93.75%	89.52%	91.71%	89.65%	93.88%	93.71%	89.79%	93.37%	92.42%	94.51%
STR03	96.45%	97.02%	95.55%	90.04%	91.09%	90.50%	89.58%	93.27%	90.65%	93.82%	89.83%	91.81%
STR04	97.40%	96.19%	97.63%	90.98%	91.43%	88.83%	89.63%	92.06%	91.32%	94.97%	87.45%	91.11%
STR05	96.90%	97.45%	95.76%	90.31%	89.76%	92.49%	92.38%	94.54%	89.23%	94.32%	91.36%	91.79%
STR06	97.57%	95.24%	96.84%	90.06%	90.71%	91.80%	88.92%	91.96%	92.87%	92.51%	89.84%	90.17%
STR07	94.41%	94.50%	96.97%	90.24%	90.57%	88.26%	96.38%	89.73%	92.09%	93.93%	89.06%	91.12%
STR08	96.41%	96.28%	97.91%	90.80%	89.89%	88.86%	92.24%	93.44%	90.45%	93.45%	88.92%	90.57%
STR09	93.73%	94.39%	95.12%	89.51%	89.65%	87.98%	90.13%	90.41%	91.19%	93.88%	85.72%	89.67%
STR10	93.00%	94.46%	96.28%	90.04%	90.25%	88.97%	92.34%	91.16%	92.99%	91.66%	87.97%	88.74%
STR11	90.09%	93.07%	92.49%	86.96%	86.57%	85.21%	87.23%	84.76%	83.94%	84.59%	82.99%	87.39%
STR12	87.52%	92.19%	89.52%	85.14%	85.51%	84.06%	87.14%	85.15%	83.98%	84.65%	84.45%	88.03%
Média	94.81%	95.36%	95.15%	89.41%	89.83%	88.77%	91.01%	91.34%	90.00%	91.99%	88.50%	90.74%

Fonte: do Autor

A presença de sujeira nos módulos fotovoltaicos pode comprometer significativamente o desempenho da usina. Isso ocorre devido à sua localização próxima a uma fábrica de britagem, que libera uma grande quantidade de poeira e sujeira sobre os módulos. A sujeira desempenha um papel importante em muitos problemas de eficiência nas strings, incluindo decaimento na potência e degraus na curva I-V. Isso pode resultar em perdas por descasamento (*mismatch*), que podem surgir devido a várias causas.

Testes realizados em campo comprovaram o efeito da sujeira nos módulos fotovoltaicos. Ao comparar a curva I-V de módulos sujos e limpos, foi possível observar na imagem 18 que a curva I-V se apresentou decaimentos na potência e degraus na curva nos painéis sujos, isso pode resultar em perdas por descasamento (*mismatch*), enquanto a curva apresentou resultados satisfatórios nos módulos limpos. É fundamental destacar a importância da manutenção regular dos módulos fotovoltaicos para garantir o seu desempenho eficiente e seguro.

Imagem 18 - Efeito da sujeira nos módulos fotovoltaicos



Fonte: do Autor

Desta forma, a limpeza dos módulos fotovoltaicos é essencial para garantir a eficiência e a capacidade de produção de energia elétrica. A acumulação de sujeira e poeira na superfície dos módulos pode causar sérios problemas, como a redução da captação de luz e aumento da temperatura, que podem afetar negativamente o desempenho do sistema e danificar o equipamento.

4.2.6 RESULTADOS DA INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA

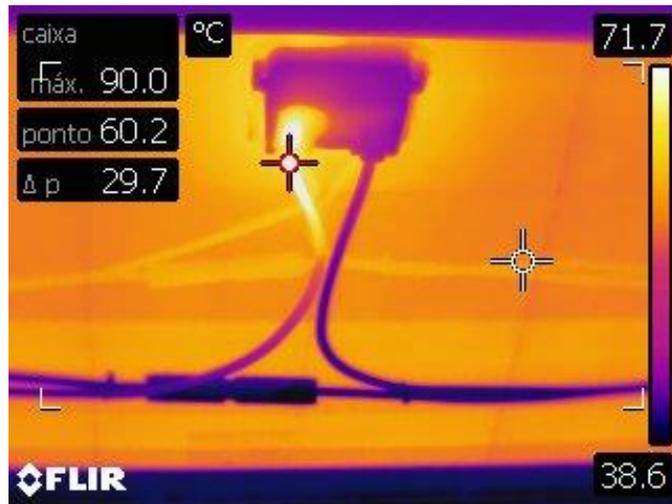
A inspeção com câmera IR é um importante procedimento no comissionamento da usina fotovoltaica UFV Atlas. É fundamental que a usina esteja em condições de operação plena para que este procedimento possa ser realizado de forma eficiente. É importante destacar que as seguintes condições devem ser atendidas para garantir a qualidade da inspeção:

- Todos os procedimentos de comissionamento anteriormente descritos, realizados e a usina sem inconformidades;
- A usina deve estar conectada à rede elétrica e em condições de plena operação;
- Módulos fotovoltaicos limpos;
- A irradiação solar sobre o plano dos módulos superior a 600 W/m^2 ;
- As condições climáticas obrigatoriamente devem ser de dias ensolarados e ou sol com poucas nuvens;
- Evitar a realização de testes com velocidade do vento acima de 20 km/h (aproximadamente 6 m/s) ou condições de umidade relativa do ar acima de 90%;
- Não realizar inspeções sob chuva, garoa ou neblina. Após a estiagem, esperar no mínimo 1h para iniciar o trabalho;

O primeiro item a ser verificado nesta inspeção é a condição dos painéis fotovoltaicos. Após a inspeção com a câmera IR, foi identificada a presença de *Hot-spots* conforme indica a imagem 19 em diferentes módulos, especialmente no condutor na saída da caixa de junção.

Esta presença de pontos quentes pode ser indicativa de uma ampla gama de problemas, incluindo falhas de fabricação, transporte inadequado ou instalação inadequada. Adicionalmente, a inspeção visual revelou a presença de cabos tensionados, o que também pode contribuir para a formação de *Hot-spots*.

Imagem 19 - Caixa de junção com sobreaquecimento no condutor



Fonte: do Autor

A inspeção termográfica da usina fotovoltaica Atlas também inclui a verificação dos inversores e das cabines de proteção, seccionamento e subestação. A câmera IR é uma ferramenta eficaz para detectar possíveis problemas relacionados a estes componentes críticos da usina.

Imagem 20 - Inspeção termográfica do inversor



Fonte: do Autor

Como pode ser observado na imagem 20, não foi identificada nenhuma inconformidade relacionada aos inversores. Isto indica que esses componentes estão em boas condições de funcionamento e não estão apresentando problemas térmicos. A presença de temperaturas uniformes indica que a transferência de energia está ocorrendo de forma eficiente e que a usina está funcionando de forma adequada.

Imagem 21 - Inspeção termográfica do QGBT



Fonte: do Autor

A inspeção termográfica dos quadros gerais de baixa tensão (QGBT's) do TE01 e TE02 da usina fotovoltaica Atlas foi realizada com o objetivo de identificar possíveis problemas e garantir a qualidade e a eficiência do sistema. Durante a inspeção, foram encontrados pontos quentes nas conexões, com temperaturas registradas acima de 90 graus.

A presença de pontos quentes nas conexões pode causar uma série de problemas, podem levar ao centelhamento e, conseqüentemente, a focos de incêndio, o que é uma preocupação importante na área de geração de energia e conseqüentemente comprometer todo o patrimônio.

A termografia é uma ferramenta crucial para verificar os principais componentes de uma instalação. Além de detectar falhas nas conexões através de pontos quentes, também garante a segurança do sistema e a eficiência. É recomendável que todos os sistemas de grande porte, passem por esse procedimento periodicamente, para garantir o seu pleno funcionamento e a qualidade do sistema.

5 PROPOSTA DE TRABALHO FUTURO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar uma proposta de trabalho ou pesquisa relacionada à área fotovoltaica, dada a crescente instalação de usinas fotovoltaicas em território nacional. Com o aumento da demanda por sistemas de alta qualidade e eficiência, torna-se fundamental investigar os aspectos que influenciam a produção de energia gerada por esses sistemas de grande porte.

Neste sentido, a proposta é investigar a eficiência energética de sistemas fotovoltaicos instalados em terrenos com baixa incidência solar, avaliando a curva I-V gerada por esses sistemas. Terrenos íngremes por exemplo podem ocasionar incidência de radiação solar menor, como em montanhas, o que pode afetar negativamente a eficiência energética das usinas.

A pesquisa irá comparar a eficiência energética de dois tipos de sistemas fotovoltaicos: os sistemas tracker, que acompanham a posição do sol e garantem maior exposição à radiação solar durante o dia, e os sistemas padrão sem tracker, que são mais simples e menos custosos. O objetivo é determinar qual desses tipos de sistema é a melhor opção para instalação. O resultado desta pesquisa pode ser útil para orientar a escolha das tecnologias a serem utilizadas em futuras instalações de usinas fotovoltaicas, visando maximizar a eficiência energética e consequentemente aquele que fornecera um *payback* melhor.

Em resumo, a proposta deste capítulo é realizar uma pesquisa sobre a eficiência energética de usinas fotovoltaicas instaladas em terrenos onde a irradiância solar pode ser afetada, comparando sistemas com tecnologia tracker e sistemas padrão sem tracker, com o intuito de estabelecer qual opção é a mais adequada através de análises das curvas de desempenho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão deste estudo de caso é que o comissionamento é uma etapa fundamental na implantação de uma usina fotovoltaica de grande porte. O cumprimento das normas NBR 16274:2014, NR10, NBR 5410 garantem a segurança da usina, prevenindo falhas e riscos que podem prejudicar o patrimônio, o ambiente, qualidade e as pessoas envolvidas.

O comissionamento da UFV Atlas resultou em melhorias significativas na segurança operacional e performance da usina, e a realização de manutenções periódicas é fundamental para garantir o seu pleno desempenho.

As boas práticas de engenharia em campo, como a instalação e montagem adequadas, são cruciais para garantir a qualidade de futuros projetos de energia renovável no Brasil e ampliar ainda mais o crescimento deste setor. Portanto, o comissionamento é uma etapa crítica e deve ser tratada com a devida importância para garantir a segurança, eficiência e sucesso de uma usina fotovoltaica de grande porte.

7 REFERÊNCIAS

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, 2014.

CANAL SOLAR. *Termografia aérea de usinas fotovoltaicas*. 2020. Disponível em: < [Termografia aérea de usinas solares fotovoltaicas \(canalsolar.com.br\)](http://canalsolar.com.br)>

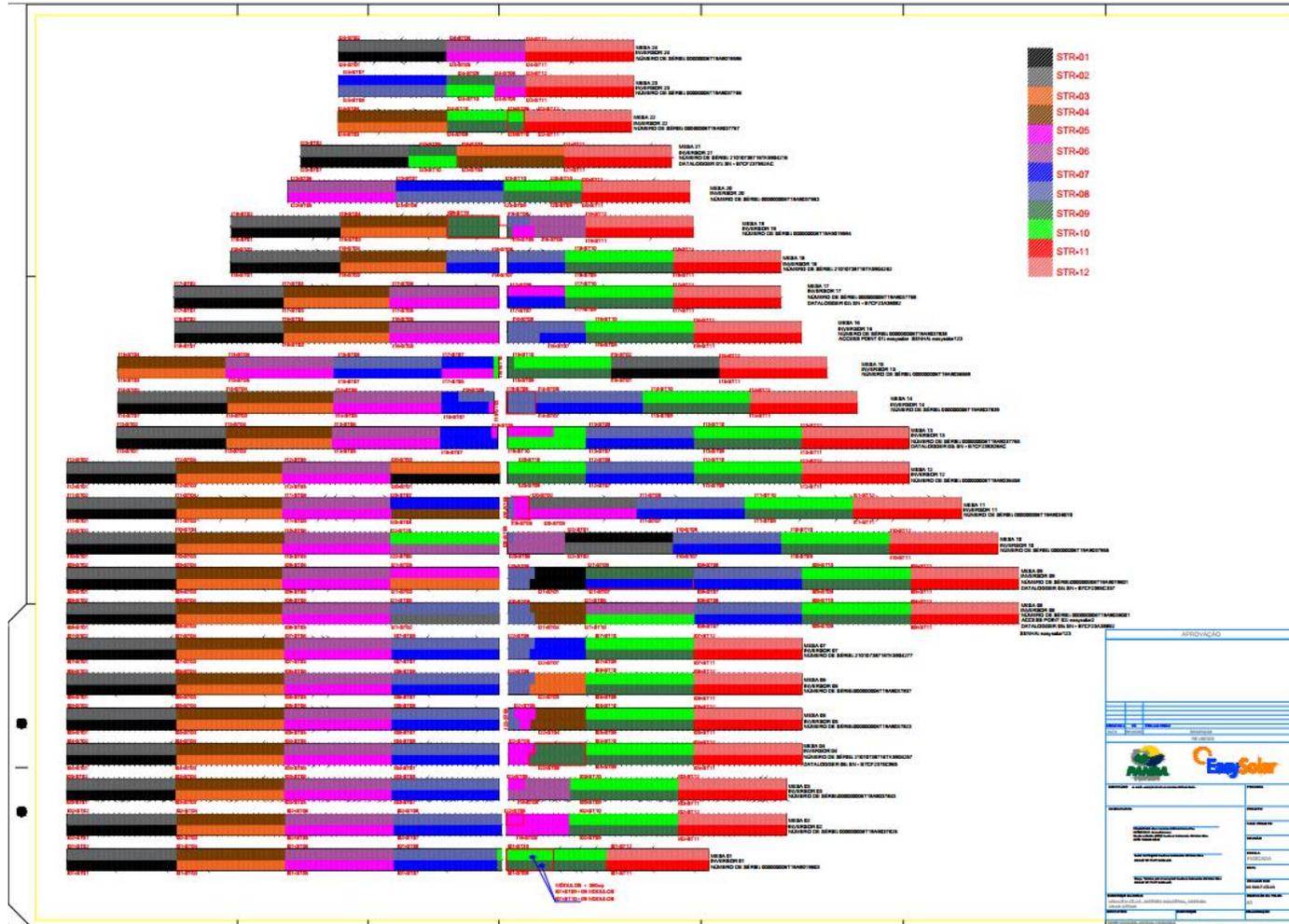
VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. *Energia Solar Fotovoltaica. Conceitos e Aplicações*. São Paulo: Érica, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. *Números do Setor Solar Fotovoltaico*. 2021. Disponível em < [ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica](http://absolar.org.br)>

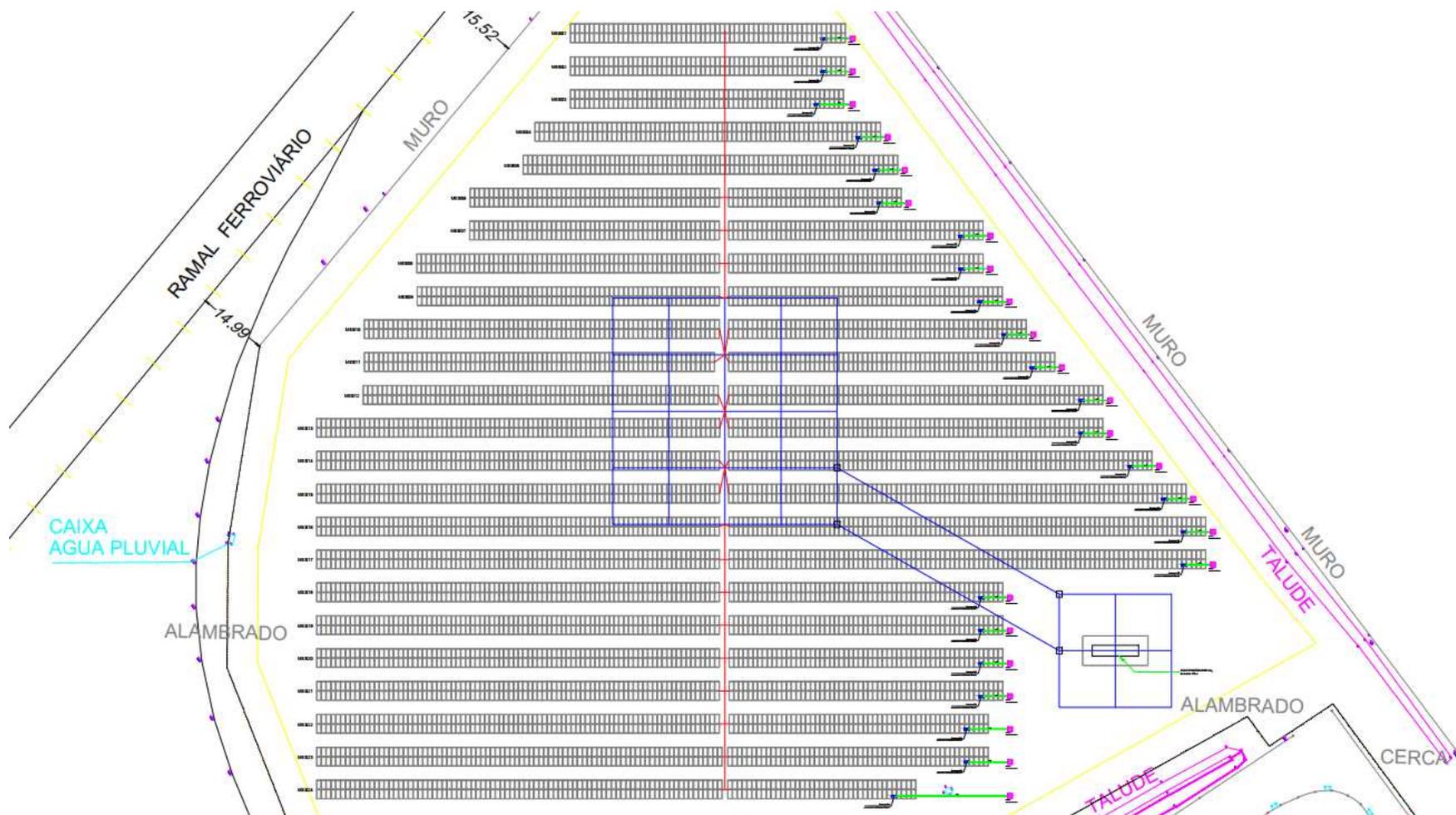
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274 - *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho*. Rio de Janeiro, 2014.

ALMEIDA, M. *Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2012.

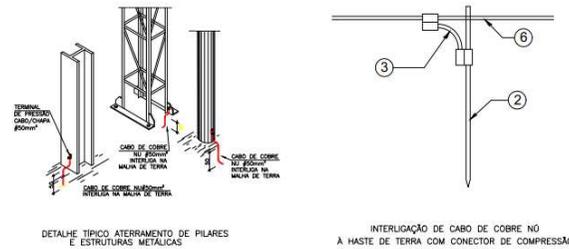
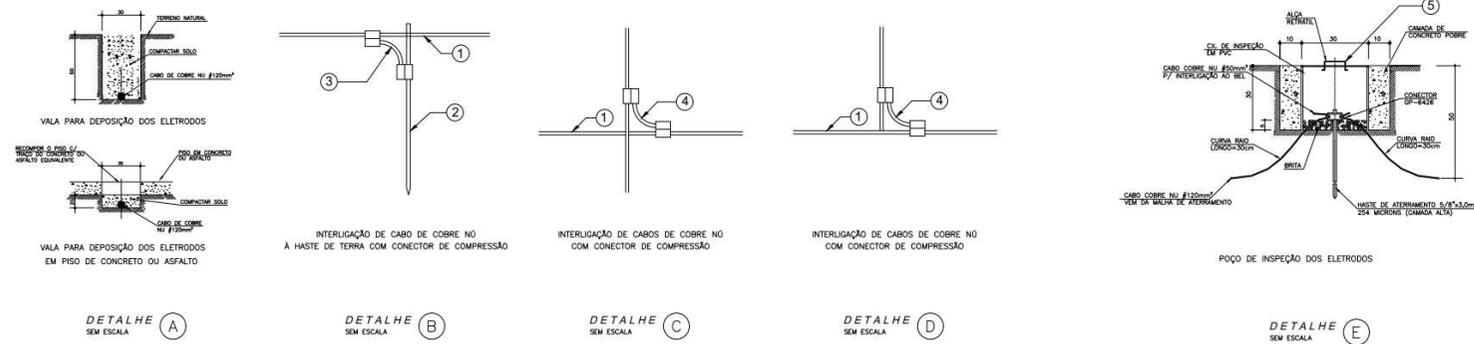
ANEXO A – PROJETO EXECUTIVO – UFV ATLAS



ANEXO B – PROJETO DA MALHA DE ATERRAMENTO – UFV ATLAS



ANEXO C – DETALHES DO ATERRAMENTO – UFV ATLAS



LEGENDA DETALHAMENTO

ITEM	DESCRIÇÃO
1	Cabo de cobre nú de 120 mm ²
2	Haste cobre de 5/8" 3000mm - alta camada
3	Conector para realizar conexão de interligação de um cabo de cobre nú de 35-120 mm ² com haste de cobre de 5/8" - Referência conector Burndy Hyground YGL 29C29.
4	Conector para realizar conexão em paralelo de dois cabos de cobre nú de 35-120 mm ² - Ref. conector Burndy Hyground YGL 29C29.
5	Caixa de inspeção 12" 300mm x 250mm - Ref. Termotécnica TEL-555
6	Cabo de cobre nú de 50 mm ²

OBSERVAÇÃO

- Todas as estruturas metálicas deverão ser interligadas a malha de aterramento com cabo de cobre nú de 50mm².
- Deverá ser instalada a Caixa de Equalização na mureta
- A interligação do BEL à malha de aterramento será feita com cabo de cobre nú de 95mm².

ANEXO D – DATASHEET INVERSOR SOLAR

Smart String Inverter (SUN2000-60KTL-M0)



Technical Specifications	SUN2000-60KTL-M0
	Efficiency
Max. Efficiency	98.7%
European Efficiency	98.5%
	Input
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V~1,000 V
Rated Input Voltage	600 V
Max. Number of Inputs	12
Number of MPP Trackers	6
	Output
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220V / 380V, 230V / 400V, default 3W+N+PE; 3W+PE optional in settings
Rated Output Current	91.2 A @380Vac, 86.7 A @400Vac
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Max. Output Current	100 A @380Vac, 95.3 A @400Vac
Adjustable Power Factor	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
	Protection
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-Islanding Protection	Yes
DC Reverse-Polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	TYPE II
AC Surge Arrester	TYPE II
Insulation Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
	Communication
Display	LED Indicators, Bluetooth + APP
RS485	Yes
USB	Yes
PLC	Yes

ANEXO E – DATASHEET MÓDULO FV

STC

Item	Módulo	BYD 310P6C-36	BYD 315P6C-36	BYD 320P6C-36	BYD 325P6C-36	BYD 330P6C-36	BYD 335P6C-36	BYD 340P6C-36
Voltagem de circuito aberto (Voc)		45.79V	46.09V	46.39 V	46.69 V	46.98 V	47.28 V	47.58 V
Voltagem máxima de operação (Vmp)		36.38 V	36.58 V	36.78 V	36.98 V	37.16 V	37.35 V	37.53 V
Corrente de curto-circuito (Isc)		8.99A	9.07A	9.15A	9.23 A	9.31 A	9.39 A	9.47 A
Corrente máxima de operação (Imp)		8.52A	8.61A	8.70A	8.79 A	8.88 A	8.97 A	9.06 A
Potência máxima em STC (Pmax)		310 Wp	315 Wp	320 Wp	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp
Eficiência do módulo		15.6 %	16.2 %	16.4 %	16.7%	17.0%	17.2%	17.5%
Temperatura de funcionamento		-40°C~85°C						
Corrente nominal máxima do fusível		15A						
Voltagem máxima do sistema		1000 VDC						
Tolerância da potência		0~5W						
Classes de aplicação		Class A						

STC: IRRADIÂNCIA 1000W/m², Temperatura do módulo 25 , AM=1.5 Ave. redução de eficiência de 4.5% por 200W/m²

NOCT

Item	Módulo	BYD 310P6C-36	BYD 315P6C-36	BYD 320P6C-36	BYD 325P6C-36	BYD 330P6C-36	BYD 335P6C-36	BYD 340P6C-36
Voltagem de circuito aberto (Voc)		42.20 V	42.50 V	42.80 V	43.10 V	43.40 V	43.70 V	43.90 V
Voltagem máxima de funcionamento (Vmp)		33.80 V	34.00 V	34.30 V	34.50 V	34.80 V	35.10 V	35.30 V
Corrente de curto-circuito (Isc)		7.29 A	7.36 A	7.42 A	7.49 A	7.54 A	7.60 A	7.66 A
Corrente máxima de funcionamento (Imp)		6.77 A	6.83 A	6.90 A	6.96 A	7.01 A	7.08 A	7.14 A
Potência máxima em NOCT (Pmax)		228.80 Wp	232.60 Wp	236.4 Wp	240.4 Wp	244.2 Wp	248.1 Wp	251.9 Wp