

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MANUAL DE INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À
REDE COM POTÊNCIA ATÉ 15 kWp

Manaus – Amazonas

2024

VICTOR HUGO VIEGAS DA LUZ

**MANUAL DE INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À
REDE COM POTÊNCIA ATÉ 15KWP**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 e apresentada a banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Gonçalves de Azevedo

Manaus – Amazonas

2024

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice – Reitor:

Katia do Nascimento Couceiro

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Jucimar Maia Junior

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Jozias Parente de Oliveira

CIP – Catalogação na Publicação

Luz, Victor Hugo Viegas da

Manual de instalação de sistemas fotovoltaico conectados à rede com potência até 15kWp; [orientado por] Cláudio Gonçalves de Azevedo – Manaus: 2024.

64 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2024.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. manual de instalação.

MANUAL DE INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE COM POTÊNCIA ATÉ 15 kWp

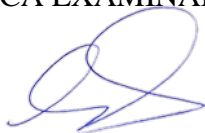
Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 e apresentada a banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota Obtida: 8,9 (oito vírgula nove)

Aprovada em 19 / 02 / 2024.

Área de concentração: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.

BANCA EXAMINADORA:



Orientador: Cláudio Gonçalves de Azevedo, Dr.



Avaliador: José Gilson Siqueira, Me.



Avaliador: José Gomes da Silva, Esp.

Manaus

2024

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, que me deu oportunidades incríveis e proteção, ao meu pai por me ensinar a aproveitar as oportunidades dadas por Deus e a minha Avó por me ensinar a enxergar o mundo com amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço novamente a Deus por ter me dado forças e saúde para enfrentar as dificuldades, também sou grato a minha avó e ao meu pai por tudo que me proporcionaram às custas dos seus esforços diários e suas abdições.

Gostaria também de agradecer a Walessa Lima, por me incentivar em todos os momentos em que precisei e por ser luz quando meus sonhos se escureceram

Aos meus amigos que tornaram essa jornada mais leve, sempre lembrando que a vida também precisa de descontração e diversão e me apoiando quando foram necessários, em especial meu amigo Juan Lennon.

Agradeço também a todos os profissionais envolvidos em minha formação, aos que de alguma forma contribuíram como referência na forma como encaro as aventuras que a engenharia elétrica me proporciona com ética e profissionalismo, sem perder o respeito ao próximo e tratando sempre com seriedade os trabalhos que realizo, em especial meu orientador Prof. Dr. Claudio Gonçalves por ter me guiado na elaboração desse trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de manual de instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede com potência de até 15 kWp, visando gerar literatura para ajudar engenheiros eletricitas e demais instaladores de sistemas fotovoltaicos a melhorarem seu processo de instalação e orientá-los acerca de informações básicas que devem ser seguidas para a realização de um trabalho seguro e eficiente.

O manual será elaborado utilizando como referência bibliográfica as normas que regem seguranças com instalações elétricas, instalações com arranjos fotovoltaicos, trabalhos em altura e também manuais de fabricantes de componentes fotovoltaicos como inversores, estruturas de fixação e suporte de módulos, módulos fotovoltaicos e demais componentes que possam fazer parte de um sistema de até 15 kWp.

Serão utilizados conteúdos e registros obtidos tanto de pesquisas bibliográficas quanto de instalações fotovoltaicas que foram realizadas no estado do Amazonas, considerando as principais adversidades encontradas nessas instalações e os procedimentos adotados para realização de uma instalação segura e confiável.

ABSTRACT

This work presents a model for an installation manual for photovoltaic systems connected to the grid with a power of up to 15 kWp, aiming to generate literature to help electrical engineers and other installers of photovoltaic systems to improve their installation process and guide them to basic information that must be followed to carry out safe and efficient work.

The manual will be prepared using as a bibliographical reference the standards that govern safety with electrical installations, installations with photovoltaic arrangements, work at heights and also manuals from manufacturers of photovoltaic components such as inverters, module fixing and support structures, photovoltaic modules and other components that can be part of a system of up to 15 kWp.

Content and records obtained from both bibliographic research and photovoltaic installations that were carried out in the state of Amazonas will be used, considering all the main adversities found in these installations and the procedures adopted to carry out a safe and reliable installation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

MPPT- *Maximum power point tracking*

UFV- Usina Solar Fotovoltaica

POP – Procedimento Operacional Padrão

GD – Geração Distribuída

EPI – Equipamento de Proteção Individual

SIN – Sistema Interligado Nacional

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Continua

APR – Análise Preliminar de Risco

NR – Norma Regulamentadora

NDEE02 – Norma de Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão Versão 2.0

NBR – Norma Brasileira

REN – Resolução Normativa

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1- Geração Distribuída Solar FV no Brasil por Classe de Consumo | 19 |
| Figura 2 - Ranking estadual de geração distribuída | 19 |
| Figura 3 - Conexões entre as partes da ABNT 5419 | 21 |
| Figura 4 - Estrutura de telhado residencial..... | 30 |
| Figura 5 - Estrutura de telhado residencial..... | 31 |
| Figura 6 - Distancias mínimas de instalação do inversor | 32 |
| Figura 7 - Posições de fixação do inversor..... | 33 |
| Figura 8 - Locais de instalação do inversor..... | 33 |
| Figura 9 - Modelo de local de instalação | 34 |
| Figura 10 - Vista externa do local de instalação..... | 35 |
| Figura 11 - Padrão de entrada agrupado | 36 |
| Figura 12 - Medidor que será conectado o sistema fotovoltaico..... | 36 |
| Figura 13 - Módulos e Estruturas | 37 |
| Figura 14 - Inspeção da caixa de fixadores | 37 |
| Figura 15 - Inspeção dos Clamper Mid e End..... | 38 |
| Figura 16 - Inspeção dos fixadores..... | 38 |
| Figura 17 - Diagrama unifilar completo..... | 39 |
| Figura 18 - Detalhamento do esquema unifilar | 40 |
| Figura 19 - Detalhamento do diagrama unifilar | 41 |
| Figura 20 - Composição de conjunto de estrutura fixadora | 42 |
| Figura 21 - Lista de ferramentas sugeridas pelo fabricante..... | 43 |
| <i>Figura 22 - Ilustração de fixador instalado em estrutura de madeira</i> | <i>43</i> |
| Figura 23 - Fixador instalado em estrutura de madeira com vedação de manta asfáltica..... | 44 |
| Figura 24 - Percurso seguro para instalação..... | 44 |
| Figura 25 - Reforço de impermeabilização do telhado | 45 |
| Figura 26 - Distância máxima dos fixadores..... | 46 |
| Figura 27 - Estruturas instaladas | 46 |
| Figura 28 - Instalação de dual Clamp END | 47 |
| Figura 29 - Instalação de Dual Clamp MID..... | 47 |
| Figura 30 - Módulos instalados | 48 |
| Figura 31 - Suporte | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 - fixação correta do suporte..... | 50 |
| Figura 33 - Inversor e proteções instaladas | 50 |
| Figura 34 - Combiner box montada | 51 |
| Figura 35 - Quadro de proteção AC..... | 51 |
| Figura 36 - Conector AC desmontado..... | 52 |
| Figura 37 – Ligação dos condutores no conector..... | 52 |
| Figura 38- Fechamento do conector..... | 53 |
| Figura 39 - Fechamento de conector MC4..... | 54 |
| Figura 40 - Ligação de pares de MC4 | 54 |
| Figura 41 - Conexão de MC4 ao inversor | 54 |
| Figura 42 - Inversor e proteções instalados e conectados | 55 |
| Figura 43 - Ficha de dados do inversor | 57 |
| Figura 44 - Padrão de Entrada..... | 57 |
| Figura 45 - Medição CC na combin | 58 |
| Figura 46 - Medição CC no MC4..... | 59 |
| Figura 47 - Medição AC no disjuntor de proteção | 59 |
| Figura 48- Medição AC no DPS | 60 |
| Figura 49 - Medição AC no conector AC | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Tabela de dimensionamento para unidades consumidoras monofásicas e bifásicas urbanas e rurais ligadas ao sistema 220V/127V | 17 |
| Tabela 2 - Ferramentas e equipamentos de segurança | 28 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1 UNIDADE CONSUMIDORA BIFÁSICA..... | 16 |
| 2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | 17 |
| 2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA..... | 18 |
| 2.4 ENERGIA FOTOVOLTAICA NA REGIÃO NORTE | 19 |
| 2.5 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS | 20 |
| 2.6 NBR-5410 – INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO..... | 20 |
| 2.7 NR 10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE | 20 |
| 2.8 NR 35 – TRABALHO EM ALTURA | 20 |
| 2.9 NBR 5419 – PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS..... | 21 |
| 2.10 NBR 16690 - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE ARRANJOS FOTOVOLTAICOS | 22 |
| 2.11 NR 06 – EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)..... | 22 |
| 2.12 INVERSOR..... | 22 |
| 2.13 MÓDULO FOTOVOLTAICO..... | 23 |
| 2.14 ARRANJO DE MÓDULOS | 24 |
| 3. METODOLOGIA | 24 |
| 4. INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE COM POTÊNCIA ATÉ 15 kWp..... | 26 |
| 4.1 OBJETIVO..... | 26 |
| 4.2 APLICAÇÃO | 26 |
| 4.3 INFORMAÇÕES GERAIS..... | 26 |
| 4.4 REFERÊNCIA NORMATIVA..... | 26 |
| 4.5 EQUIPE DE INSTALAÇÃO..... | 26 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.6 | CONDIÇÕES PREVIAS DE TRABALHO | 27 |
| 4.7 | FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO..... | 27 |
| 4.8 | PLANEJAMENTO DA OBRA DE INSTALAÇÃO..... | 29 |
| 4.8.1 | Cabo do ramal de entrada; | 29 |
| 4.8.2 | Ponto de ancoragem da escada | 30 |
| 4.8.3 | Estrutura do telhado e telhas utilizadas..... | 30 |
| 4.8.4 | Local de instalação do Aterramento..... | 31 |
| 4.8.5 | Local de instalação dos equipamentos | 31 |
| 4.8.6 | Percurso de infraestrutura e tipo de material utilizado..... | 34 |
| 4.8.7 | Padrão de entrada e barramento de conexão..... | 35 |
| 4.8.8 | Recebimento e conferência do material | 35 |
| 4.8.9 | Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) da instalação. | 39 |
| 4.8.10 | Leitura e interpretação do esquema unifilar..... | 39 |
| 4.9 | INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS..... | 41 |
| 4.10 | INSTALAÇÃO DO INVERSOR E PROTEÇÕES | 49 |
| 4.11 | COMISSIONAMENTO | 55 |
| | Medições CA e CC | 58 |
| | Teste do Inversor..... | 61 |
| 5. | CONCLUSÃO | 62 |
| 6. | REFERÊNCIAS..... | 64 |

1. INTRODUÇÃO

O uso de fontes de geração de energia renováveis vem sendo cada vez mais explorado como alternativa para substituir fontes não renováveis, como combustíveis fósseis, carvão vegetal, carvão mineral, entre outras. Nesse cenário a energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos vem ganhando bastante espaço, mas não somente em usinas de geração centralizada, assim como alternativa de geração de energia elétrica em residências, comércios e indústrias do país, podendo alimentar suas cargas consumidoras e a energia e o excedente dessa energia injetada na rede.

Esse trabalho visa desenvolver um modelo de manual técnico com o intuito de auxiliar profissionais que executam instalações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede a executarem instalações de fontes solares com potência até 15 kWp.

O manual tem como objetivo fornecer literatura que oriente esses profissionais instaladores de sistemas fotovoltaicos a realizarem instalações fotovoltaicas de forma segura. Para a execução de serviços eletromecânicos devem ser seguidas a Norma Regulamentadora (NR) - 10 que estabelece condições mínimas de segurança para os trabalhadores que interajam direta ou indiretamente com instalações elétricas e serviços com eletricidade. NR-35 que estabelece os requisitos e medidas de proteção para o trabalho em altura. NR-6 que trata de equipamentos de proteção individual e demais normas que visam resguardar a saúde e segurança dos trabalhadores.

Para isso, serão aprofundados os passos necessários para a instalação de um sistema fotovoltaico em um modelo de manual. Este modelo irá descrever procedimentos de segurança, procedimentos de instalação dos módulos, procedimento de instalação do inversor, ferramentas utilizadas e outros fatores que fazem parte do processo de instalação de um sistema fotovoltaico com potência até 15 kWp conectados à rede.

Os capítulos abordarão planejamento de instalação da obra, instalação dos módulos fotovoltaicos, instalação do inversor, instalação das proteções do inversor e por fim o comissionamento do sistema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 UNIDADE CONSUMIDORA BIFÁSICA

As classes de consumo são as classificações utilizadas pelas concessionárias de energia para dividir os diferentes tipos de consumidores. Essas classes definem a modalidade tarifária que a unidade consumidora será tributada e também quais parâmetros de instalação devem ser seguidos para obter o fornecimento de energia proveniente das redes de distribuição da concessionária de energia local. Cada concessionária fornece suas próprias diretrizes. (Resolução Normativa ANEEL nº 414, de 2010).

Segundo Norma Técnica de Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão (Edificações Individuais) da Amazonas Energia S.A, as Unidades Consumidoras no Item 8.1.5: “No caso das unidades consumidoras urbanas ou rurais atendidas por redes secundárias trifásicas, com carga instalada entre 15,1 kW e 75 kW, o fornecimento de energia deve ser a 4 fios, sendo a entrada de serviço dimensionada pela demanda”.

Como podemos ver na tabela 1, fornecida pela própria norma de fornecimento de energia elétrica, que se refere ao dimensionamento para unidades consumidoras monofásicas e bifásicas urbanas ou rurais ligadas ao sistema de distribuição, também está fixado que o limite de potência instalada para uma unidade consumidora bifásica é de 15 kVA.

Tabela 1- Tabela de dimensionamento para unidades consumidoras monofásicas e bifásicas urbanas e rurais ligadas ao sistema 220V/127V

| Tipo de Conexão (Sistema 220-127V) | Faixa | Carga instalada (KVA) | | Potência do maior motor/solda motor (CV) | | Responsabilidade do consumidor | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------------------|------|--|-----|--------------------------------|------------------------------|---|----------------------------|-----|-----------------------------------|--|---|--|------------------------|------------------|--------|
| | | | | | | Padrão de entrada | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Ramal de entrada e de saída | | | Disjuntor (magnético (IN)) | | Aterramento | | | | | Caixa de medição | |
| | | | | | | Condutor de cobre PVC – 70°C | Condutor de cobre EPR – 90°C | Eletroduto de PVC rígido ou aço galvanizado | | | Condutor de proteção isolado (PE) | Eletroduto PVC rígido ou aço galvanizado | Condutor de cobre de aterramento (m ou isolado) | Interligação das Hastas do eletrodo / cabo de cobre NU ou aço cobreado (40%) | | | |
| | | | | | | | | | Diâmetro nominal | | | | | | mm² | mm | Pol. |
| De | Até | FN | 2 F | 3 F | mm² | mm² | mm | Pol. | A | mm² | mm | Pol. | mm² | mm² | | | |
| Monofásico (Tipo M) | M1 | 0 | 4,0 | 2 | - | - | 1#6(6) | 1#6(6) | 32 | 1" | 32 | Mesma bitola e isolamento das fases | 20 | 1/2" | Mesma bitola das fases | 50 | Nota 6 |
| | M2 | 4,1 | 5,0 | 2 | - | - | 1#6(6) | 1#6(6) | | | 40 | | | | | | |
| | M3 | 5,1 | 6,0 | 2 | - | - | 1#10(10) | 1#6(6) | | | 50 | | | | | | |
| | M4 | 6,0 | 7,5 | 2 | - | - | 1#16(16) | 1#10(10) | | | 63 | | | | | | |
| Bifásico (Tipo B) | B1 | - | 7,0 | 2 | 3 | - | 2#6(6) | 2#6(6) | 32 | 1" | 32 | Mesma bitola e isolamento das fases | 20 | 1/2" | Mesma bitola das fases | 50 | Nota 6 |
| | B2 | 7,1 | 8,0 | 2 | 3 | - | 2#6(6) | 2#6(6) | | | 40 | | | | | | |
| | B3 | 8,1 | 10,0 | 2 | 3 | - | 2#10(10) | 2#6(6) | | | 50 | | | | | | |
| | B4 | 10,1 | 13,0 | 2 | 3 | - | 2#16(16) | 2#10(10) | | | 63 | | | | | | |
| | B5 | 13,1 | 15,0 | 2 | 3 | - | 2#16(16) | 2#10(10) | | | 70 | | | | | | |

Fonte: Norma de Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão Versão 2.0

2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída é uma modalidade que permite a geração de energia elétrica no local ou próximo do local de consumo. Ela se difere da geração centralizada, que é composta por usinas de grande porte, que são conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), o sistema elétrico que leva energia ao consumo por meio de uma rede de transmissão e distribuição. (PORTAL SOLAR, 2023)

Em 6 de janeiro de 2022, foi sancionada a lei 14.300, instituindo o marco legal da Microgeração e Mini Geração Distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica e o Programa de Energia Renovável. A legislação previa um período de transição para os projetos solicitados em até 12 meses contados da publicação da lei.

A lei 14.300 veio para tratar dos aspectos que até então eram baseados pela Resolução Normativa (REN) 482/2021, tratando de pontos como direito adquirido, valoração dos créditos, compensação das componentes tarifárias, geração compartilhada e outros temas desse setor.

A resolução normativa 1059 de 2023 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicada em 07 de fevereiro de 2022, aprimora as regras para conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de energia elétrica, bem como as regras do sistema de compensação de energia elétrica. Essa resolução aprimora a REN 1000 de 7 de setembro de 2021 que já tratava desses pontos antes da lei 14.300.

2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA

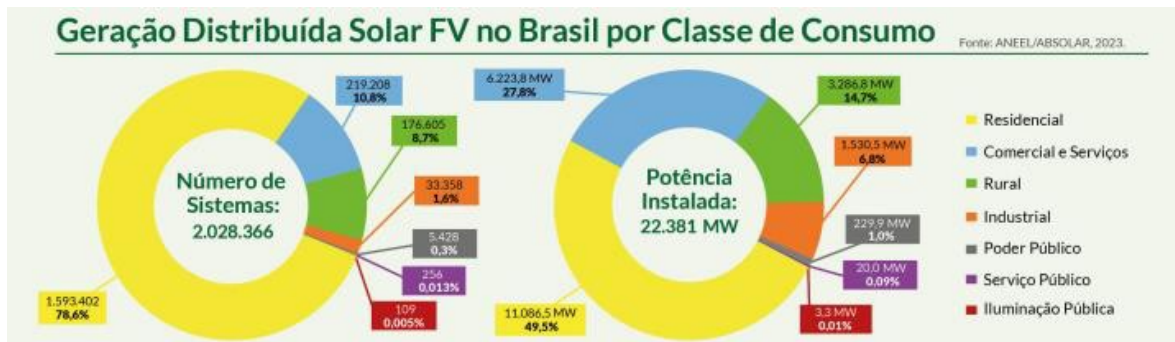
A energia solar é uma fonte sustentável, alternativa e renovável que tem como fonte de energia a luz do sol. O aproveitamento desta fonte tanto como fonte de calor, como fonte de luz, é uma das melhores alternativas energéticas usadas para diversificar a matriz elétrica do mundo e torná-la menos dependente dos combustíveis fósseis que contribuem para o agravamento do aquecimento global (CRESESB, 2006).

Estima-se que a capacidade solar no mundo deve triplicar de tamanho entre os anos de 2022 e 2027, crescendo 1,5TW e superando o carvão como a maior fonte de capacidade de energia (Agência Internacional de Energia, IEA, 2022).

O Brasil ganhou 1 GW em sistemas fotovoltaicos na geração distribuída no primeiro trimestre de 2023. O número representa um crescimento de mais de 14% em relação ao mesmo período no ano passado. Nos três primeiros meses do ano de 2023, os sistemas residenciais já somam juntos mais da metade da capacidade instalada em Geração Distribuída (GD), totalizando 1,89 GW. Ao longo dos três meses foram mais de 185 mil sistemas fotovoltaicos instalados, beneficiando mais de 250 mil consumidores. (PORTAL SOLAR,2023)

Na Figura 1, podemos ver como estão distribuídos os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de acordo com as classes de consumidores, sendo o maior número de sistemas concentrados na classe residencial, segundo seguida pela comercial e serviços e também rural.

Figura 1- Geração Distribuída Fotovoltaica no Brasil por Classe de Consumo



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2023)

2.4 ENERGIA FOTOVOLTAICA NA REGIÃO NORTE

Formada pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, a região norte expandiu em mais de 89% a sua capacidade em micro e mini geração fotovoltaica ao longo de 2022, saltando de 0,55GW em 1º de janeiro para 1,04GW em 31 de dezembro. (ABSOLAR, 2023)

Apesar do crescimento expressivo, a região norte é a localidade brasileira que apresenta os números menos positivos da GD solar, tendo em vista que todas as demais regiões do País já contam com ao menos 2,5GW de potência instalada no segmento. (CANALSOLAR, s.d)

Figura 2 - Ranking estadual de geração distribuída



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2023)

2.5 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

Os trabalhos realizados em uma instalação fotovoltaica envolvem situações que oferecem riscos aos profissionais instaladores. Os ambientes de instalação oferecem riscos de queda, riscos de choques elétricos e demais riscos laborais.

Uma instalação fotovoltaica segura deve ser realizada por profissionais qualificados, habilitados e capacitados que tenham conhecimento e saibam empregar as orientações de segurança providas pelas NRs, e empreguem boas práticas de instalação. Nesse cenário é importante saber quais as principais normas que orientam os trabalhos em instalações fotovoltaicas e entender como empregá-las de forma a oferecer uma instalação elétrica e um ambiente de trabalho seguros.

2.6 NBR-5410 – INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

A Norma Brasileira (NBR) - 5410, estabelece as condições que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, visando garantir a segurança de pessoas e animais que podem entrar em contato com essas instalações, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.

2.7 NR 10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

De acordo com a portaria N ° 598, de 07 de dezembro de 2004, a NR 10 estabelece requisitos e condições mínimas para implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, garantindo assim a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem de forma direta ou indireta com instalações elétricas e serviços com eletricidade. Essa norma reguladora tem validade nas fases de geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica, assim cobrindo todos os momentos em que o trabalhador poderá sofrer exposição aos riscos inerentes ao trabalho com eletricidade.

A norma oferece medidas de controle, medidas de proteção coletiva, medidas de proteção individual, faz orientações quanto a segurança na construção, montagem, operação e manutenção e também orienta em relação à segurança na elaboração de projetos.

2.8 NR 35 – TRABALHO EM ALTURA

Esta norma tem como objetivo estabelecer os requisitos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo planejamento, a organização e a execução adequados, de

forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente nas atividades que serão desempenhadas. Sendo considerado trabalho em altura toda atividade que for realizada acima de 2 metros do nível inferior e que cause risco de queda. (NR35, 2014)

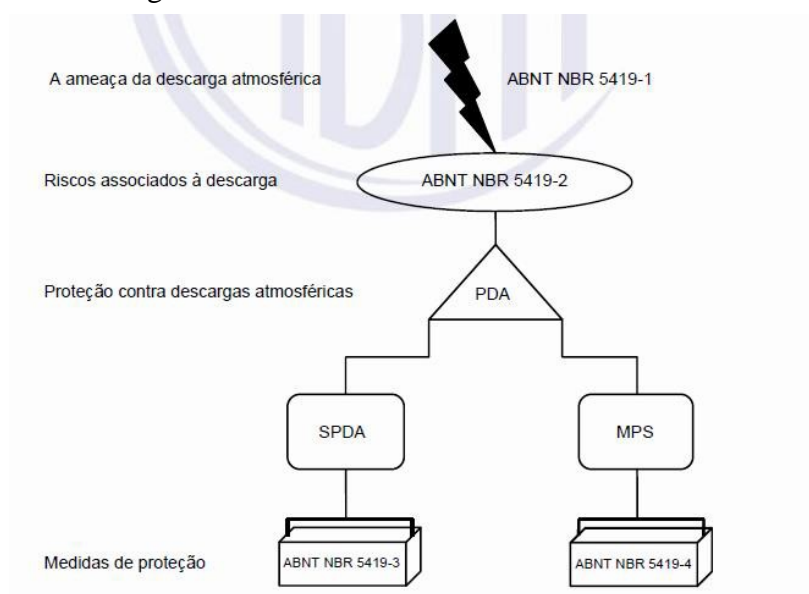
O trabalho com instalações fotovoltaicas de até 15 kWp deve ter esta norma como pilar, visto que grande parte das instalações de pequeno porte são instalações em que os módulos são alojados nos telhados das residências. Dessa forma, é necessário que o profissional instalador empregue todas as medidas de segurança disponíveis para garantir o nível de segurança necessário que uma instalação de sistema fotovoltaico necessita.

2.9 NBR 5419 – PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Não há dispositivos ou métodos capazes de modificar os fenômenos climáticos naturais a ponto de se prevenir ocorrências de descargas atmosféricas. A necessidade de proteção, os benefícios e a escolha de medidas adequadas de proteção devem ser determinados em um termo de gerenciamento de risco.

Todas as medidas de proteção contra descargas atmosféricas formam a proteção completa contra esses fenômenos. Por razões práticas, essa norma é dividida em quatro partes e os critérios para projeto, instalação e manutenção das medidas de proteção são abordados em dois grupos separados, A Figura 3 ilustra as quatro partes da NBR 5419.

Figura 3 – Referências Normativas NBR 5419



Fonte: NBR 5419 (2015)

2.10 NBR-16690 - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE ARRANJOS FOTOVOLTAICOS

O objetivo dessa norma é fazer a especificação dos requisitos de segurança que surgem das características particulares dos sistemas fotovoltaicos. Sistemas em corrente contínua e arranjos fotovoltaicos em particular trazendo riscos além daqueles gerados pelos sistemas de potência em corrente alternada.

Essa norma trata de arranjos fotovoltaicos, define e orienta sobre unidades de condicionamento de potência e também define proteções contra sobre correntes e outros fenômenos.

2.11 NR 06 – EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Entende-se como Equipamento Conjugado de Proteção Individual todo aquele utilizado pelo trabalhador, composto por vários dispositivos que o fabricante tenha conjugado contra um ou mais riscos ocupacionais existentes no ambiente de trabalho. (NR06, 2022)

É de responsabilidade da empresa o fornecimento gratuito e em perfeito estado de todo EPI necessário para que as atividades executadas pelo trabalhador sejam seguras. Também cabe ao empregador treinar e orientar o trabalhador a utilizar os EPIs de forma adequada, assim prezando pela higiene e conservação de todos os equipamentos e sempre que necessário, o empregador deve garantir a substituição dos mesmos.

2.12 INVERSOR

Um inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (CA), a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (CC). A energia CC pode ser proveniente, por exemplo, de baterias, células a combustível ou módulos fotovoltaicos. A tensão CA de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados as cargas a serem alimentadas. Adicionalmente, no caso de sistemas conectados à rede elétrica, a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede.

O inversor é o núcleo do sistema fotovoltaico, nele é concentrado o trabalho de conversão de energia com corrente contínua em corrente alternada. Podemos encontrar diversos modelos e potências no mercado, vão de inversores para sistemas conectados à rede, sistemas isolados da rede e sistemas híbridos.

A forma de onda geralmente é um indicador de qualidade do inversor, isso porque ela depende do método de conversão utilizado e também da filtragem que elimina os harmônicos indesejáveis.

Pode-se citar alguns critérios principais para analisar a qualidade de um inversor fotovoltaico, os quais são (PINHO, João; GALDINO, Marco, s. n., 2014):

- Alta eficiência de conversão, tanto em carga nominal quanto em cargas parciais;
- Alta confiabilidade e baixa manutenção;
- Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;
- Boa regulação na tensão de saída;
- Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico;
- Baixa emissão de ruído audível;
- Baixa emissão de interferência eletromagnética;
- Tolerância aos surtos de partida dos equipamentos a serem alimentados;
- Segurança tanto para as pessoas quanto para a instalação;
- Grau de proteção IP adequado para o tipo de instalação;
- Garantia de fábrica de pelo menos 2 anos.

2.13 MÓDULO FOTOVOLTAICO

Um módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos para produzir tensão e corrente suficientes para a utilização prática de energia, ao mesmo tempo em que promove a proteção das células. Os módulos são geralmente identificados por sua potência em Watt Pico (Wp), mas essa não é a única característica que deve ser observada. Essa definição de potência de pico é feita nas condições padrão de ensaio (STC, do inglês *Standard Test Conditions*), considerando irradiância solar de $1.000\text{W}/\text{m}^2$ sob uma distribuição espectral padrão para AM 1,5 e temperatura de célula de $25\text{ }^\circ\text{C}$. (PINHO, João; GALDINO, Marco, s. n., 2014)

O número de células em um módulo e seu arranjo, que pode ser em série e/ou paralelo, depende da tensão de utilização e corrente elétrica desejadas. É importante ter cuidado com a seleção das células a serem reunidas no momento da fabricação do módulo, devido a suas características elétricas. A incompatibilidade dessas características leva a módulos de baixa qualidade, devido ao efeito de *mismatch* (descasamento), pelo qual as células de menor fotocorrente limitam o desempenho do conjunto e, em consequência, a eficiência global do módulo fotovoltaico é reduzida. (PINHO, João; GALDINO, Marco, s. n., 2014)

Nos dias atuais, os módulos fotovoltaicos são produzidos em fabricas automatizadas, com mínima interferência humana. A produção em larga escala dos módulos tem permitido grande redução nos preços e tem assegurado a produção de produtos de alta qualidade.

2.14 ARRANJO DE MÓDULOS

Os módulos podem ser conectados em ligações serie e/ou paralelo. Dependendo da corrente e tensão desejadas, para formar painéis fotovoltaicos com potência mais elevada. Ao definir como serão associados os módulos, é necessário ter informações de como deverá ser a instalação e quais componentes serão utilizados, pois as tensões e correntes resultantes devem ter plena compatibilidade com esses componentes.

A conexão em serie é feita do terminal positivo de um modulo ao terminal negativo de outro, e assim por diante. As caixas de conexões na sua face posterior ou cabos instalados previamente facilitam esta conexão. Deve-se usar cabos e conexões específicos para uso em sistemas fotovoltaicos, que são protegidos contra efeitos de radiação e das intempéries. (PINHO, João; GALDINO, Marco, s. n., 2014)

3. METODOLOGIA

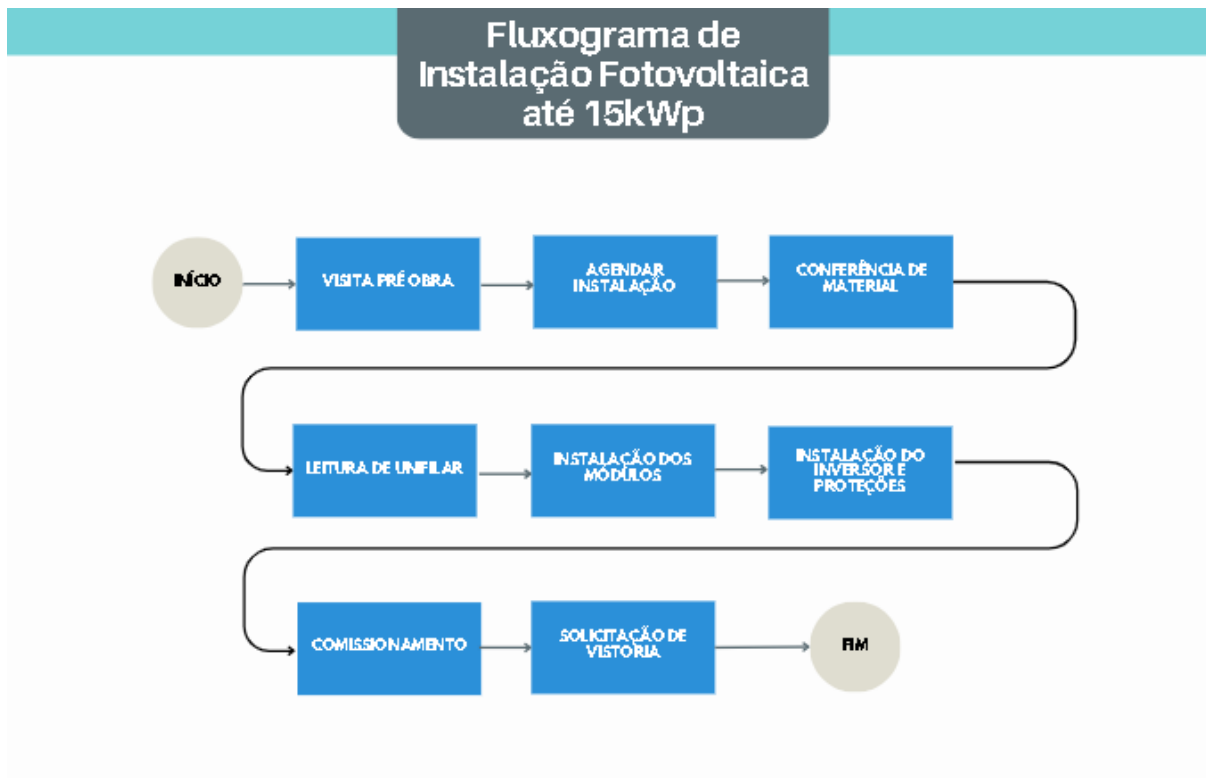
O trabalho será uma pesquisa aplicada com objetivo de realizar uma pesquisa exploratória e explicativa sobre o material bibliográfico encontrado e os dados obtidos em situação real em campo. Como procedimentos técnicos serão utilizados pesquisa bibliográfica e experimental, o método de abordagem será o hipotético-dedutivo, seguindo o método de procedimento monográfico.

Será realizada uma pesquisa bibliográfica acerca dos temas pertinentes ao trabalho, sendo eles: funcionamento de sistemas fotovoltaicos interligados a rede elétrica, inversores fotovoltaicos, módulos fotovoltaicos, normas de regulamentação. Os dados serão obtidos de usinas instaladas no estado do Amazonas, tendo sua potência dentro do valor máximo de 15 kWp.

Para obter os dados necessários para a composição do manual de instalação de sistemas fotovoltaicos de até 15 kWp, serão feitos registros de imagens e comentários técnicos acerca dos procedimentos realizados, esses procedimentos serão organizados em um modelo de manual contendo os principais procedimentos técnicos, organizacionais e de segurança necessários para uma boa instalação do sistema fotovoltaico.

Os procedimentos realizados no manual seguirão a ordem estabelecida no fluxograma mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma de Instalação fotovoltaica



Fonte: Autoria Própria

4. INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE COM POTÊNCIA ATÉ 15 kWp

4.1 OBJETIVO

Orientar os procedimentos adotados nas atividades relativas aos serviços de instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede com potência de até 15 kWp.

4.2 APLICAÇÃO

Setor Operacional, execução de projeto fotovoltaico.

4.3 INFORMAÇÕES GERAIS

Os procedimentos descritos a seguir orientam a execução da atividade de instalação de sistema fotovoltaico em *rooftop* (telhado), limitando a potência desses sistemas em até 15 kWp, estabelecendo conceitos básicos para a instalação de equipamentos e orientação, conforme estabelecem as normas regulamentadoras, os profissionais instaladores acerca de práticas seguras de trabalho e quem visem o pleno funcionamento dos equipamentos e um prolongamento na vida útil dos mesmos.

4.4 REFERÊNCIA NORMATIVA

NR 06 – Equipamentos de Proteção Individual (EPI);

NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;

NR 12 – Segurança no Trabalho em Maquinas e Equipamentos;

NR 35 – Trabalho em Altura;

NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão;

NBR 166690 – Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos;

4.5 EQUIPE DE INSTALAÇÃO

A equipe de instalação deverá ser composta por um mínimo de 4 (quatro) integrantes. Dentre eles, 1 (um) eletricista instalador fotovoltaico, 1 (um) auxiliar de eletricista instalador fotovoltaico e 2 (dois) ajudantes de obra.

4.6 CONDIÇÕES PREVIAS DE TRABALHO

- Ser cordial, tratando as pessoas com respeito, educação e evitar revide por alguma ofensa recebida;
- Obedecer às regulamentações vigentes: Normas reguladoras (NR), Código Civil Brasileiro (CCB), Normas e diretrizes da empresa;
- Utilizar os uniformes completos;
- Adotar práticas de organização e limpeza do ambiente de trabalho;
- Ter pontualidade e assiduidade;
- Comunicar-se a respeito dos interesses do trabalho de forma clara e objetiva;
- Comunicar se não se encontra em condições físicas e psicológicas para exercer o trabalho
- Se conhecedor de alguma condição que impeça o colega de equipe de realizar os trabalhos de rotina orienta-lo a procurar o superior responsável ou notificar o superior responsável acerca da situação para que a integridade física e psicológica do colega seja preservada e dos demais companheiros em local de trabalho;
- Não utilizar adornos que possam atrapalhar ou causar risco a segurança do trabalho em atividades relacionadas a eletricidade (Relógios, pulseiras, anéis, brincos, telefones celulares, etc.);
- Utilizar o EPI adequado e devidamente inspecionados e condicionados em locais a pronta disposição para realização das tarefas;

4.7 FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO

Os profissionais instaladores devem ter à sua disponibilidade as ferramentas e equipamentos de segurança que possam possibilitar a realização do trabalho de forma segura e otimizada. Para isso, é necessário estabelecer componentes mínimos que devem ser fornecidos a esses profissionais. Na tabela 2 podemos definir os conjuntos de EPIs e ferramentas mínimos para uma equipe de instalação de sistema fotovoltaico dessa faixa de potência.

Tabela 2 - Ferramentas e equipamentos de segurança

| | | |
|--|---|--|
| COLABORADORES:4 | | |
| KIT 1: EPI ELETRICISTA | KIT 2: EPI AJUDANTES | KIT 3: FERRAMENTAS COLETIVAS |
| Calçado de segurança Capacete de segurança Óculos de segurança Protetor solar Uniforme antichamas Luva de cobertura Luva de raspa Luva de proteção isolante Trava quedas Sistema de linha de vida Talabarte de posição Talabarte em Y Cinto paraquedista | Calçado de segurança Capacete de segurança Óculos de segurança Protetor solar Uniforme profissional Trava quedas Sistema de linha de vida Talabarte em Y Cinto paraquedista | Escada Corda Lanterna Enxada Pá Picareta Colher de pedreiro Furadeira martetele Esmerilhadeira Serra Mármore Parafusadeira elétrica Tabuas de madeira Nível de mão |
| KIT 4: FERRAMENTAS MONTAGEM ELÉTRICA | KIT 5: FERRAMENTAS MONTAGEM MÓDULOS E EXTRUTURAS | x |
| Alicate eletricitista Alicate de corte diagonal Chave fenda isolada Chave phillips isolada Kit de chaves allen Kit de chaves | Ponteira soquete 8mm Ponteira soquete 10mm Ponteira soquete 12mm Kit chave allen P.U 44 Aplicador de silicone Chave inglesa Manta asfáltica Manta liquida | x |

Fonte: Autoria Própria

4.8 PLANEJAMENTO DA OBRA DE INSTALAÇÃO

Um procedimento importante, que deve ser realizado em qualquer instalação elétrica, é o de visita técnica para colher dados e analisar o trabalho que será realizado. Em sistemas fotovoltaicos muitas vezes as condições em que instalação elétrica do imóvel de seu cliente estará em desconformidade com o projeto que foi dimensionado e enviado à concessionária de energia. Então se faz necessária a realização de adequações para que o sistema instalado possa operar de forma segura e a concessionária, por meio de vistoria, aprove a conexão do sistema à rede de potência.

Outro fator importante que deve ser observado na visita realizada antes da instalação, é a presença de riscos ao trabalho realizado. Por isso, deve ser feita sempre uma análise preliminar de riscos (APR), para que todas as medidas de segurança e prevenção a acidentes de trabalho sejam tomadas.

Assim alguns pontos que são importantes para serem observados durante a visita são:

- Ponto de ancoragem da escada (ponto de subida de equipe, módulos, estruturas e material de instalação);
- Área onde será realizado o aterramento do sistema fotovoltaico;
- Recinto onde serão alocados os componentes do sistema;
- Ponto para descarte de entulhos e rejeitos da instalação;
- Ambiente para refeição da equipe de instalação;
- Banheiro para utilização da equipe de instalação;
- Estrutura do telhado;
- Tipo de telha utilizada no telhado;
- Percurso para infraestrutura que irá comportar os cabos da parte CC do sistema;
- Tipo de conduto que será adotado para proteção dos cabos elétricos (eletroduto metálico ou em policloreto de vinila – PVC etc);
- Condições do padrão entrada;

4.8.1 Cabo do ramal de entrada;

- Disjuntor de proteção do padrão de entrada;
- Barramento de força da residência (se houver);
- Cabo de alimentação do quadro principal;
- Disjuntor de proteção do quadro principal;
- Verificar aterramento existente (se houver);

Dessa forma, o profissional responsável pela instalação poderá ter uma visão geral de todos os aspectos que compõe a instalação fotovoltaica, assim podendo otimizar o processo já estabelecendo previamente qual será a ordem de execução dos serviços e quais colaboradores estarão envolvidos em cada atividade.

Como os profissionais envolvidos nessa etapa do projeto fotovoltaico estão responsáveis somente pela instalação do sistema, obedecendo todos os parâmetros de projeto e se atentando aos procedimentos seguros para realização de seu trabalho, cabe ao profissional técnico responsável pela instalação estar alinhado ao profissional projetista, ou até se esse profissional tenha elaborado o projeto, estar ciente de todas as informações essenciais à instalação e também

se alinhar com o projeto elaborado quando forem necessárias alterações por questões econômicas ou de força maior que possam ocorrer na instalação.

4.8.2 Ponto de ancoragem da escada

O ponto de ancoragem de escada deve ser escolhido de forma que atenda as especificações de segurança presentes na NR-35 e também seja estratégico para subida de material e instaladores. Também devemos ter sempre tábuas de madeira para traçar rotas seguras em cima dos telhados, protegendo tanto a equipe quanto a integridade do telhado do imóvel. Em telhados de modo construtivo colonial com telhas cerâmicas podemos verificar mais de um ponto de ancoragem para que os instaladores não percorram grandes distâncias transportando os módulos, visto que nesses telhados há um risco grande de quebra de telhas.

4.8.3 Estrutura do telhado e telhas utilizadas

A estrutura que suporta as telhas e o tipo de telha são informações indispensáveis, pois existem modelos de estrutura de fixação para cada modelo construtivo de telhados de imóveis, com essas informações você pode entender quais ferramentas devem ser utilizadas na hora da instalação desses fixadores.

Nas figuras 5 e 6 podemos ver que o tipo de estrutura adotado pelos clientes foi de madeira e ambas as telhas são de fibrocimento. Podemos observar que mesmo telhas de mesmo material possuem variações de fabricação e grau de resistências diferentes, nos casos abaixo vemos que as telhas possuem calhas de tamanhos diferentes e resistência distintas, o que faz com que na telha de menor resistência seja necessário um cuidado maior para se movimentar.

Figura 5 - Estrutura de telhado residencial

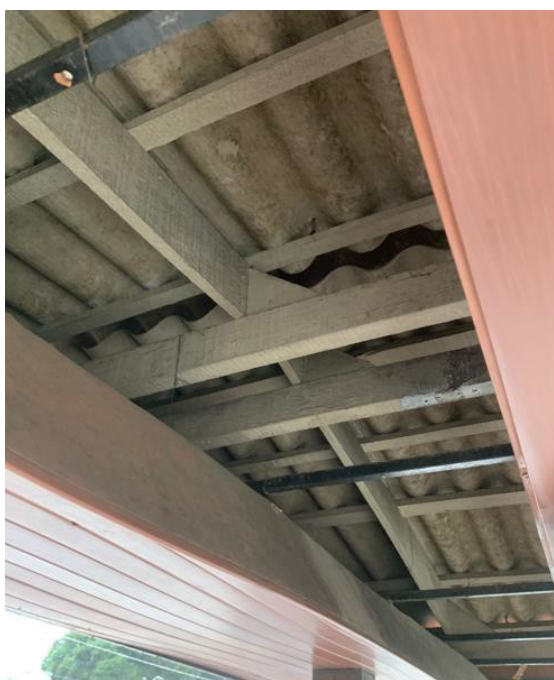


Figura 6 - Estrutura de telhado residencial



Fonte: Autoria Própria

4.8.4 Local de instalação do Aterramento

O local de instalação do aterramento pode ser definido em comum acordo com o contratante visando atender as condições estéticas do imóvel, mas também considerando as condições técnicas e financeiras que a instalação necessita atender. Locais muito distantes dos módulos, inversores e proteções podem acarretar em altos custos com cabeamento e infraestrutura para comportar corretamente esse cabeamento, assim como é possível que o local escolhido dificulte o trabalho de fincar corretamente as hastes, como em lugares apertados, terrenos acidentados e com solo predominante de pedras.

Esses fatores são importantes pois eles podem prolongar o período de instalação e acarretar no aumento de custo.

4.8.5 Local de instalação dos equipamentos

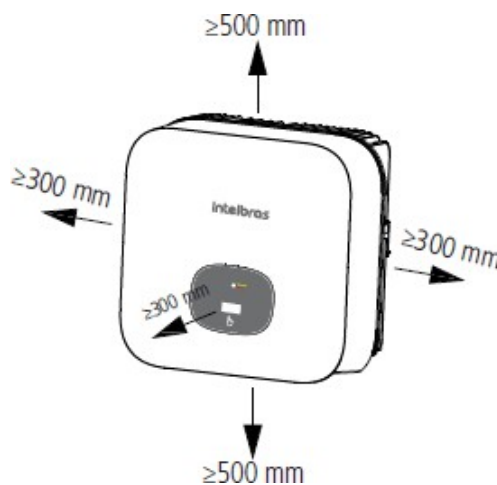
O local de instalação dos equipamentos deve obedecer às condições estabelecidas em manual, como distâncias mínimas para ventilação, exposição ao tempo e também lidando com os fatores já presentes no imóvel. Instalar os equipamentos em locais muito altos pode dificultar futuras manutenções ou até o acionamento de dispositivos de proteção em situações de emergência, locais baixos podem facilitar o acesso de crianças e animais aos riscos inerentes à equipamentos elétricos e seus componentes.

Para isso, é necessário que o profissional entenda quais são os fatores presentes na edificação para que possa escolher de forma técnica e profissional o melhor lugar para instalação do sistema fotovoltaico, observando sempre as preferências do contratante e como melhor satisfazê-las.

Podemos listar alguns pontos presentes no manual para a escolha desse local:

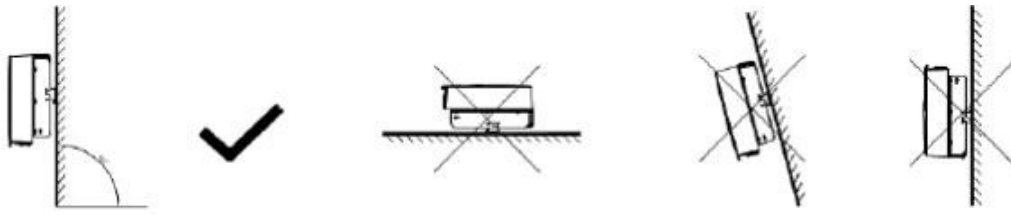
- O local da instalação deve ser adequado ao peso e as dimensões do inversor;
- As distancias mínimas necessárias para uma boa ventilação e resfriamento do inversor devem ser obedecidas, como na figura 7;
- O inversor deve ser instalado em um local que as informações do display possam ser facilmente visualizadas;
- O equipamento não deve ser instalado em estruturas construídas com material inflamável;
- Nunca instale o inversor em ambientes com pouco ou nenhum fluxo de ar, nem em ambientes com poeira;
- A instalação do inversor deve ser feita na posição vertical e com os conectores para baixo, a figura 8 exemplifica;
- O inversor deve estar fora do alcance de crianças;
- O inversor não deve ser instalado exposto diretamente a luz do sol, deve ser dada preferência para locais com alguma cobertura ou proteção para o equipamento, como pode ser visto na figura 9.

Figura 7 - Distancias mínimas de instalação do inversor



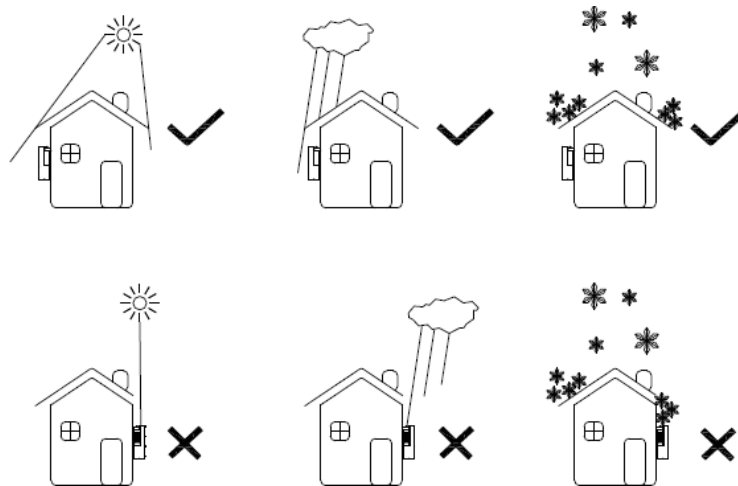
Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

Figura 8 - Posições de fixação do inversor



Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

Figura 9 - Locais de instalação do inversor



Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

Na figura 10, podemos ver um modelo de local ideal para instalação do inversor. Nesse local, o equipamento não ficará exposto ao ar livre, há espaço para que sejam respeitadas as distancias mínimas de instalação e uma boa circulação de ar. Também é necessário se certificar de instalar o equipamento em uma altura que dificulte o acesso de crianças e animais.

Figura 10 - Modelo de local de instalação



Fonte: Autoria Própria

4.8.6 Percurso de infraestrutura e tipo de material utilizado

O percurso de infraestrutura e material utilizados são uns dos pontos mais flexíveis em uma instalação desse tipo, pois eles influenciam na estética da edificação e também podem aumentar ou diminuir os custos com materiais presentes na obra, uma vez que percorrer caminhos longos pode aumentar os gastos com cabeamento e também a queda de tensão tanto da parte CA quanto CC do sistema. Essa parte da instalação é flexível para ajustes visando preservar a estética do imóvel, mas sem esquecer de que não podemos abrir mão das condições ideais de funcionamento do equipamento.

É importante destacar que nem todos os materiais são ideais para todos os ambientes, algumas canaletas e tubulações não apresentam resistência ao tempo, portanto, devem ser evitadas para locais onde há incidência solar, como as áreas externas. A Figura 11 mostra um exemplo de ambiente externo onde deve ser criada uma infraestrutura para passagem dos cabos CC, CA e de aterramento.

Figura 11 - Vista externa do local de instalação



Fonte: Autoria Própria

4.8.7 Padrão de entrada e barramento de conexão

O padrão de entrada é um dos pontos mais importantes da instalação, tendo em vista que ele passará por vistoria por parte dos agentes da concessionária de energia. É importante estar de acordo com todos os critérios estabelecidos em projeto, sendo assim, na visita que antecede a instalação o profissional instalador poderá se preparar para todas as possíveis ajustes que devem ser feitos para que o sistema fique apto para homologação e seja aprovado na vistoria da concessionária de energia. As Figuras 12 e 13 são exemplos de condições de padrão de entrada que podem ser encontradas em um ambiente de visita antes do início da instalação.

4.8.8 Recebimento e conferência do material

Após a visita prévia no local de instalação, já podemos considerar a primeira parte da instalação quase pronta para ser iniciada. Para isso, falta apenas a conferência dos materiais e componentes adquiridos pelo cliente, com o intuito de verificar se tudo está de acordo com a nota fiscal dos componentes e se certificar de que todos os materiais foram entregues e alocados de forma adequada sem oferecer nenhum risco de avaria ou de mal funcionamento aos mesmos. Para isso, podem ser feitos registros fotográficos, anotações em documentos de inspeção ou quaisquer outras medidas de supervisão que possam vir a ser adotadas para realizar esse procedimento. Em caso de produtos e componentes avariados, é necessário realizar uma análise para se certificar de que esses itens não ofereçam riscos para a instalação, caso contrário o responsável técnico deverá solicitar a substituição do componente para que nenhum prejuízo maior seja causado. As Figuras de 14 a 17 ilustram as inspeções visuais que devem ser realizadas nos materiais recebidos.

Figura 12 - Padrão de entrada agrupado



Fonte: Autoria Própria

Figura 13 - Medidor que será conectado ao sistema fotovoltaico



Fonte: Autoria Própria

Ao observar o padrão de entrada, devemos verificar as especificações do disjuntor de proteção, quais cabos estão sendo utilizados, qual tipo de isolação desses cabos e também se

esse padrão de entrada atende às normas da concessionária de energia, pois ele também estará sujeito à análise em uma vistoria para conexão do sistema fotovoltaico à rede.

Figura 14 - Módulos e Estruturas



Fonte: Autoria Própria

Figura 15 - Inspeção da caixa de fixadores



Fonte: Autoria Própria

Figura 16 - Inspeção dos Clamper Mid e End



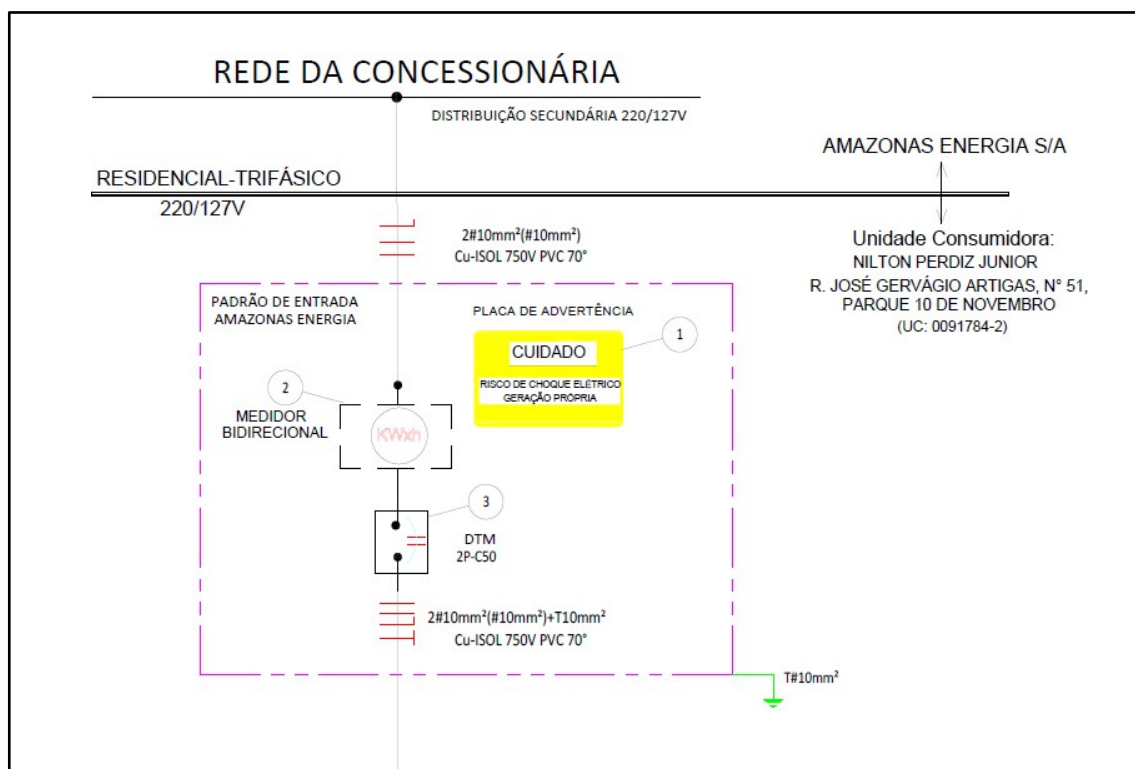
Fonte: Autoria Própria

Figura 17 - Inspeção dos fixadores



Fonte: Autoria Própria

Figura 19 - Detalhamento do esquema unifilar



Fonte: Autoria Própria

A parte superior do esquema unifilar é composta por informações a respeito da conexão com a concessionária e proteções de dados do padrão de entrada. Há também informação acerca do disjuntor de proteção do padrão de entrada, cabeamento usado no padrão de entrada, cabeamento utilizado no ramal de conexão. É necessária a confecção de uma placa de sinalização indicando a existência de geração própria - esse item é exigido pela concessionária e ajuda a identificar uma unidade consumidora que também tem uma fonte de geração -. A Figura 19 é um exemplo desse tipo de sinalização em um ambiente de instalação real.

Na figura 20, mostra-se os componentes que irão ser usados no sistema fotovoltaico. Nesse caso, é possível obter informações dos conjuntos de módulos, cabeamento utilizado na parte CA e CC do sistema, as proteções dessas respectivas partes e também proteções contra descargas atmosféricas e os condutores de aterramento.

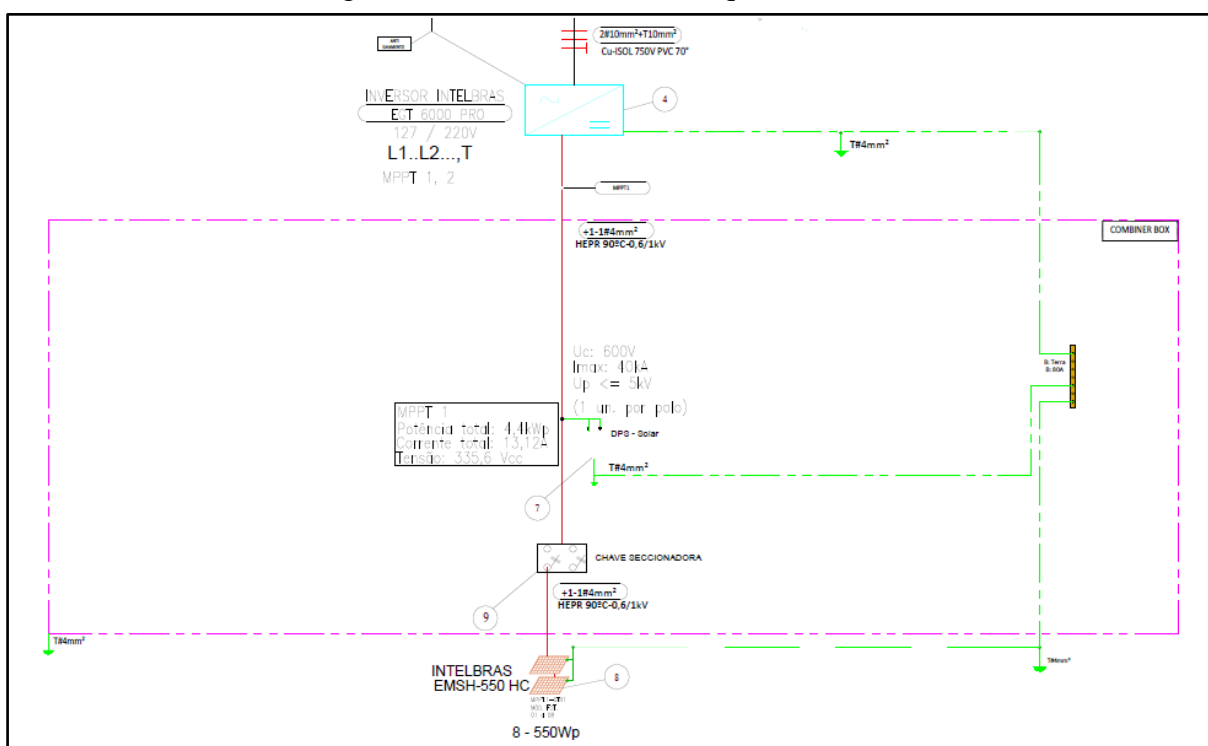
Nesse trecho do esquema unifilar podemos extrair todas as informações necessárias a respeito das proteções e acessórios do inversor e módulos fotovoltaicos, é necessário que todos os equipamentos e proteções instalados sejam equivalentes aos definidos em projeto para que o sistema opere de forma segura.

Figura 20 - Placa de sinalização geração própria



Fonte: Autoria Própria

Figura 21 - Detalhamento do esquema unifilar



Fonte: Autoria Própria

4.9 INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A instalação dos módulos fotovoltaicos deve ser realizada por profissionais instaladores qualificados e que possuam treinamento para trabalho em altura. Esses profissionais devem seguir as normas de segurança e recomendações técnicas existentes, devem também adotar todas as medidas de segurança necessárias para diminuir os riscos às pessoas e equipamentos.

Os fabricantes de estruturas disponibilizam manuais de instalação para cada tipo de estrutura e fixador disponível. A equipe de instalação deve se orientar de acordo com o modelo utilizado em cada situação. Esses manuais contêm informações de quais ferramentas devem ser utilizadas, quantidade de módulos por kit, quais e quantos acessórios cada kit é composto, entre outras informações. A Figura 22 ilustra um tipo de manual de instalação de estrutura fotovoltaica.

Figura 22 - Composição de conjunto de estrutura fixadora



Fonte: Manual de Instalação Parafuso Rosca Dupla (Romagnole, s.d)

Com essas informações, podemos separar as ferramentas necessárias para realizar a instalação dos fixadores e perfis que irão receber os módulos, além de quantificar quanto de material será utilizado na instalação.

A instalação do fixador rosca dupla deve ser finalizada de acordo como a Figura 23 ilustra.

Figura 23 - Lista de ferramentas sugeridas pelo fabricante

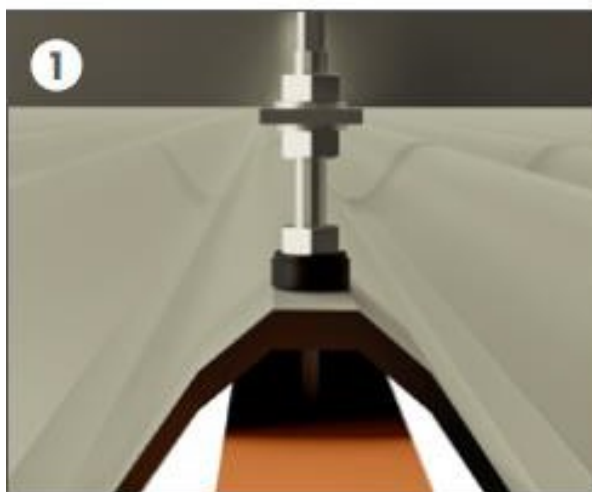
| Ferramentas/Equipamentos | Torque de aperto |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Chave allen para parafuso M6; • Chave de boca para parafuso sextavado M10; • Parafusadeira/furadeira com bocal para parafuso sextavado M4 (cabeça de parafuso rosca dupla). | <ul style="list-style-type: none"> • Parafuso M10 – 3daN.m; • Parafuso allen M6 – 0,57daN.m. |

Cuidados

- Verificar o correto esquadreamento da estrutura;
- Ao final da instalação realizar inspeção visual, a fim de verificar a correta fixação de todos os elementos.

Fonte: Manual de Instalação Parafuso Rosca Dupla (Romagnole, s.d)

Figura 24 - Ilustração de fixador instalado em estrutura de madeira



Fonte: Manual de Instalação Parafuso Rosca Dupla (Romagnole, s.d)

Para isso, é necessário que o instalador realize os seguintes passos ilustrados nas Figuras 24 e 25:

- Perfure a telha fixando o suporte;
- Através da regulagem presente no fixador faça os ajustes de alturas e distancias necessários para obter o alinhamento da estrutura;
- Coloque o perfil de alumínio sobre o suporte, fixando-o com o parafuso “T” M10;
- Adicionalmente, pode se optar por empregar mantas líquidas ou mantas asfálticas para reforçar a vedação do fixador, reduzindo os riscos de infiltrações e goteiras na instalação.

Figura 25 - Fixador instalado em estrutura de madeira com vedação de manta asfáltica



Fonte: Autoria Própria

Após a realização da instalação de um suporte, a equipe deve repetir o procedimento até que todos os suportes necessários para a instalação dos módulos sejam instalados. Um ponto essencial nesse procedimento é que se deve estabelecer um percurso seguro sobre o telhado do cliente para que a movimentação de pessoal e materiais seja feita durante esse processo. Para isso, podem ser usadas tábuas ou compensados para criar um caminho, conforme na Figura 26 e 27.

Figura 26 - Percurso seguro para instalação



Fonte: Autoria Própria

Figura 27 - Reforço de impermeabilização do telhado

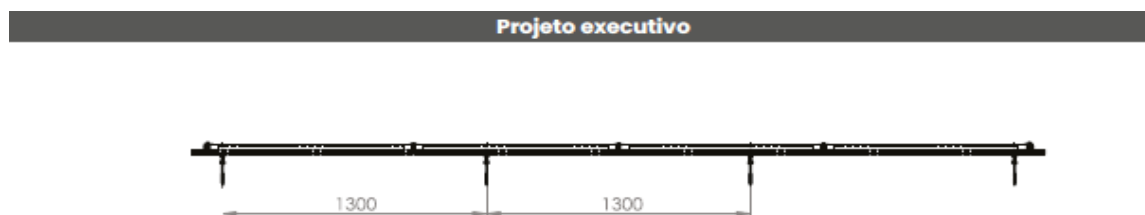


Fonte: Autoria Própria

Alguns pontos do telhado podem necessitar de reparos ou reforços de impermeabilização. Caso não haja a possibilidade de realizar esses procedimentos ou a telha comprometida esteja muito fragilizada e o profissional instalador perceba que essas medidas não serão suficientes para sanar o problema, o ideal é que o responsável seja informado para que a troca da telha e o reparo necessário seja realizado para que a instalação dos módulos possa continuar. Esse tipo de reforço é mostrado na Figura 27.

A distância máxima permitida entre cada fixador também é definida pelo manual em 1,3 m, sendo essa distância fixada independente de variações de kit ou tamanho de perfil. A Figura 28 demonstra o espaçamento correto a ser utilizado.

Figura 28 - Distância máxima dos fixadores



Fonte: Manual de Instalação Parafuso Rosca Dupla (Romagnole, s.d)

Além da fixação das estruturas, também é possível que a equipe já realize a passagem dos cabos que irão ser conectados nos conjuntos de módulos que deverão ser instalados. Após ter realizado a leitura do diagrama unifilar, podemos entender quantos módulos e conjuntos deverão ser instalados e assim ficará mais fácil organizar essa divisão de cabos. Abaixo temos um exemplo de estruturas montadas e cabeamento passado em situação de espera para que os módulos sejam instalados.

Figura 29 - Estruturas instaladas



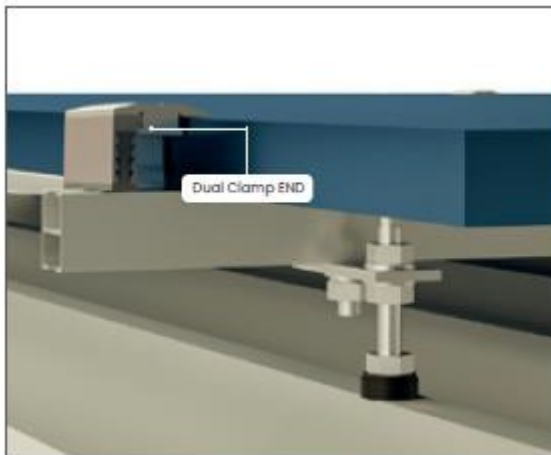
Fonte: Autoria Própria

As estruturas metálicas devem ser conectas entre si e ligadas ao cabo de aterramento, que deverá ser passado até o ponto de equipotencialização com a malha de aterramento.

A instalação e fixação dos módulos deve ser feita conforme orienta o manual de instalação, seguindo as orientações de como fixar corretamente o dual *clamp end* e o dual *clamp*

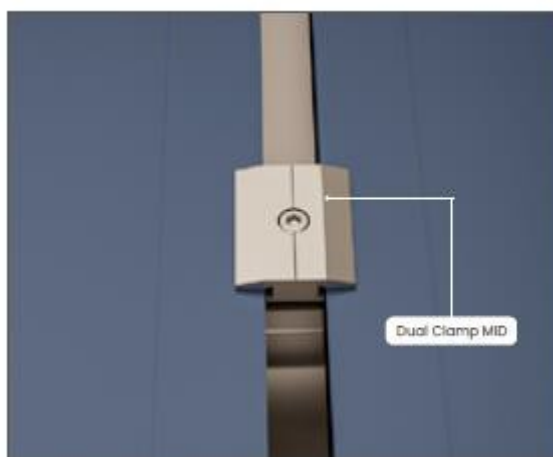
mid, que são os acessórios de fixação dos módulos ao trilho. Podemos realizar a correta fixação dos módulos conforme nas Figuras 30 e 31.

Figura 30 - Instalação de dual *Clamp End*



Fonte: Manual de Instalação Parafuso Rosca Dupla (Romagnole, s.d)

Figura 31 - Instalação de Dual *Clamp Mid*



Fonte: Manual de Instalação Parafuso Rosca Dupla (Romagnole, s.d)

Os passos a serem seguidos são:

- Colocar os módulos sobre o perfil de alumínio;
- Fazer a fixação do primeiro módulo utilizando o Dual Clamp End;
- Fazer a fixação dos demais módulos utilizando o Dual Clamp Mid;
- Finalizar a fileira de módulo com o Dual Clamp End;

Uma boa prática que pode ser realizada na instalação dos módulos é a de conferir o alinhamento deles. Para isso, basta ter em posse uma linha de nylon que deve ser fixada nas

duas extremidades da fileira a fim de conferir se todos os módulos se encontram em alinhamento, essa iniciativa melhora a estética da instalação e também proporciona uma melhor organização e otimização dos espaços de manutenção entre as fileiras de módulos.

Seguindo esses passos podemos obter uma ótima instalação do ponto de vista técnico e estético para o imóvel, como podemos verificar na Figura 32 abaixo.

Figura 32 - Módulos instalados



Fonte: Autoria Própria

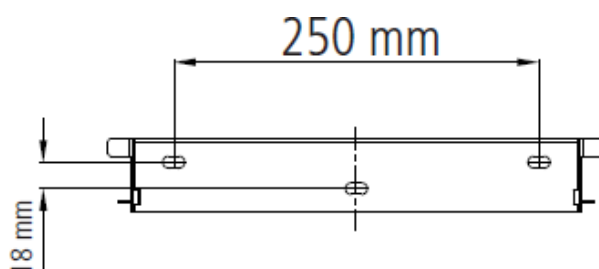
4.10 INSTALAÇÃO DO INVERSOR E PROTEÇÕES

Com vários fabricantes e distribuidores de equipamento solar no mercado, os profissionais instaladores irão se deparar com os mais variados modelos e marcas de equipamentos, por isso, é necessário que o profissional responsável pela instalação oriente os profissionais instaladores de acordo com as particularidades que os aparelhos de marcas diferentes apresentam. Assim como adotado para os módulos fotovoltaicos e suas estruturas de fixação, é ideal que a instalação do inversor e suas proteções sejam guiadas com base nas recomendações presentes no seu manual de instalação.

O primeiro passo para instalação do inversor é sua fixação. Para isso, uma furadeira deve ser utilizada para fazer os furos de acordo com o formato existente no suporte do inversor, com isso podemos fixar o inversor de forma adequada no suporte e instalar os parafusos que fixam o inversor no suporte.

Após instalar o inversor, pode-se iniciar a infraestrutura pela qual passarão os condutores CA e CC do sistema e os dispositivos de proteção CA. Nessa etapa é necessário atentar para as distâncias mínimas estabelecidas no manual. As figuras 33,34 e 35 ilustram os passos citados.

Figura 33 – Suporte



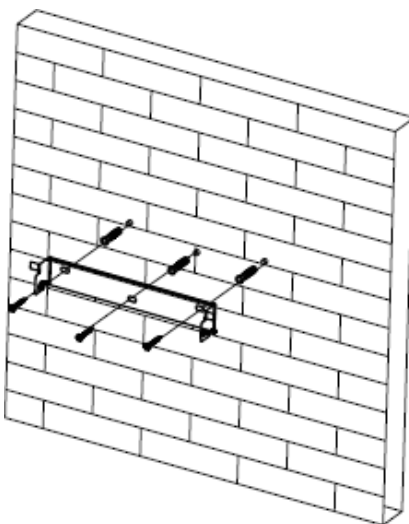
Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

As proteções CA e CC do inversor são as que foram estabelecidas em projeto e estão presentes no esquema unifilar, as quais devem ser instaladas pelo profissional instalador eletricitista e as conexões elétricas dessa etapa devem ser feitas de forma segura.

As figuras 36 e 37 exemplificam a montagem das proteções CA e CC. Como podemos verificar em ambas as proteções temos dispositivos de proteção contra sobretensões elétricas (DPS) e dispositivos de seccionamento. No quadro de proteção CA foi adicionado um disjuntor que servirá de proteção para as cargas da residência, as proteções também serão inspecionadas

no momento de vistoria da concessionária de energia, sendo as especificações definidas no esquema unifilar.

Figura 34 - fixação correta do suporte



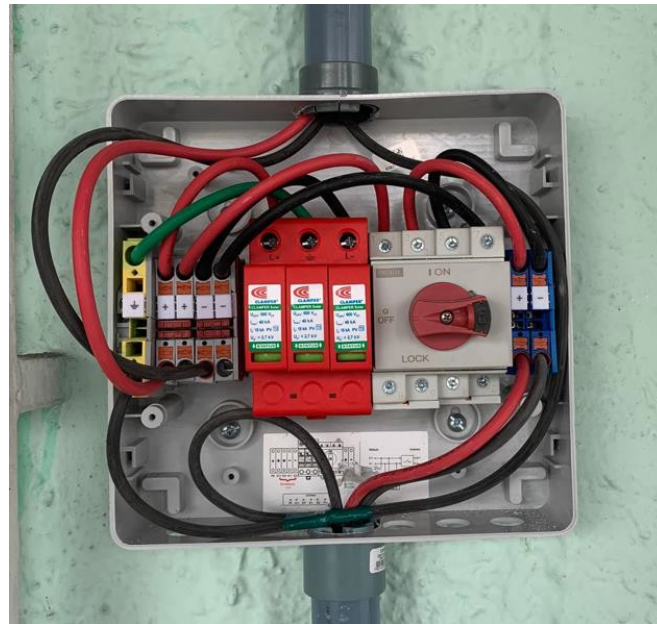
Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

Figura 35 - Inversor e proteções instaladas



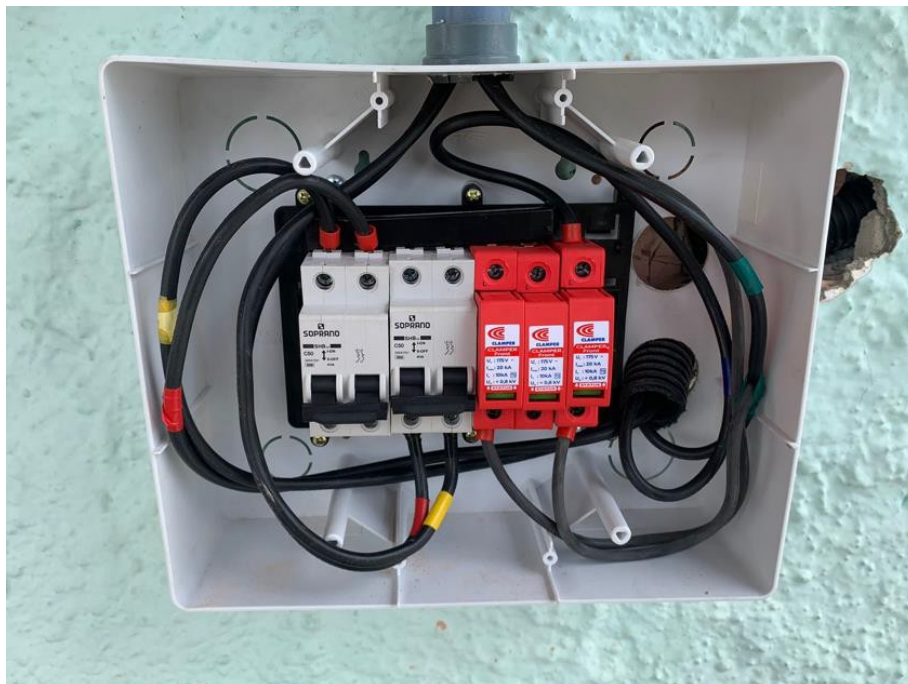
Fonte: Autoria Própria

Figura 36 - Combiner box montada



Fonte: Autoria Própria

Figura 37 - Quadro de proteção AC



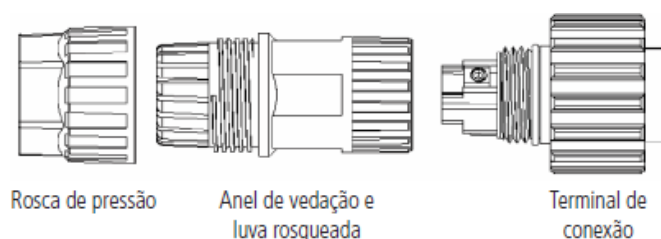
Fonte: Autoria Própria

O próximo passo que deve ser realizado após a fixação do inversor e suas proteções é montar os conectores CA e CC que serão conectados ao inversor, os conectores CC são

chamados de conectores MC4 e cada modelo tem sua montagem específica. Nessa etapa, devemos ficar atentos para as polaridades dos conectores pois é necessário realizar a conexão correta dos terminais positivos e negativos para que o aparelho não corra risco de inversão de polaridade da componentes CC. As Figuras 38, 39 e 40 ilustram a montagem de um modelo de conector CA.

Devemos desenroscar as partes do conector CA o inversor de forma a permitir a passagem dos cabos de fase e o condutor de aterramento. Esses condutores devem ser decapados em cerca de 10mm para a conexão nos terminais, uma vez que esses terminais são devidamente apertados podemos fechar o conector para que a proteção esteja completa. Em alguns casos, o ponto de conexão CA é feito diretamente em uma terminação por meio de terminal olhal.

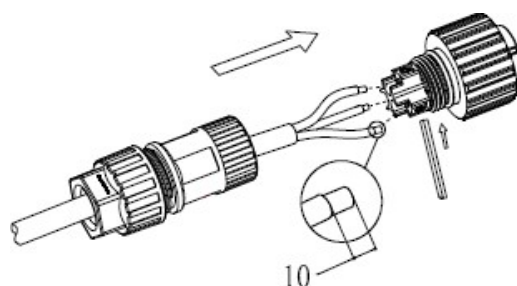
Figura 38 - Conector AC desmontado



Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

Para essa montagem, passe os cabos por dentro da rosca de pressão e do anel de vedação e os conecte ao terminal de conexão. Após isso, insira os cabos de acordo com as polaridades indicadas no terminal e aperte os parafusos.

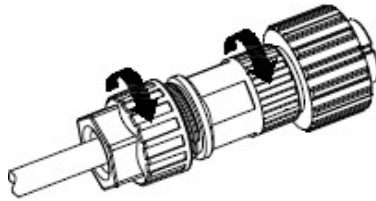
Figura 39 – Ligação dos condutores no conector



Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

Enrosque as partes de forma adequada para que a vedação seja completa e após isso conecte ao inversor.

Figura 40- Fechamento do conector



Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

A montagem dos conectores MC4 é importante, pois uma falha nesse ponto pode acarretar em pontos de aquecimento ou até mesmo falhas que produzam curto circuito. Para uma boa montagem, os cabos devem ser conectados aos pinos de forma correta e crimpados com alicate crimpador de terminais. Após a crimpagem, é necessário enroscar devidamente os conectores e conectá-los aos seus respectivos pares, conforme nas Figuras 42, 43 e 44.

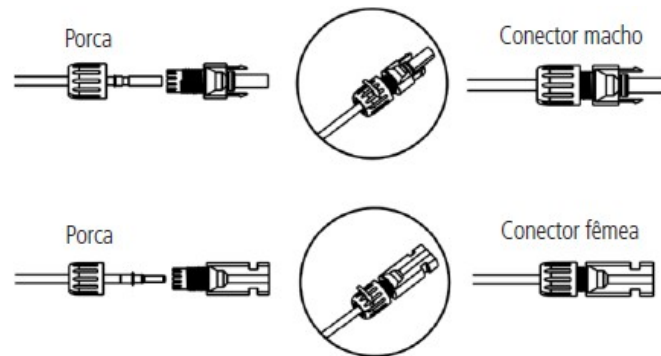
Alguns modelos de conexão CA são feitos por meio de terminais, nesses casos são usados terminais olhais nos cabos para que a conexão seja segura. Na Figura 41 mostra-se uma conexão desse tipo.

Figura 41 - Conexão AC por meio de terminal olhal



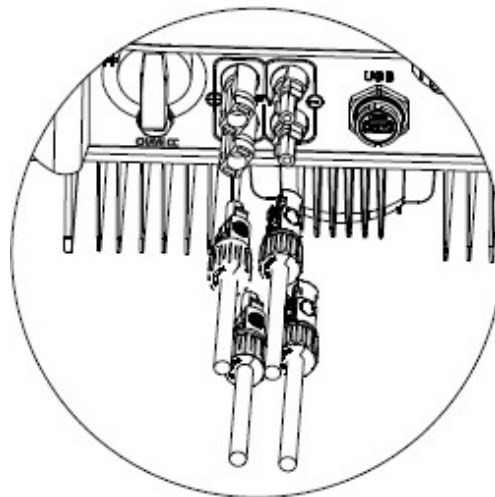
Fonte: Autoria Própria.

Figura 42 - Fechamento de conector MC4



Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

Figura 43 - Ligação de pares de MC4



Fonte: Manual de Operação e Instalação EGT 2500 PRO – 6000 PRO Intelbras (s.d)

Figura 44 - Conexão de MC4 ao inversor



Fonte; Autoria Própria

Uma vez estando com todos os terminais conectados ao inversor, podemos então partir para o último passo que deve ser realizado antes do teste do aparelho, o comissionamento. A figura 45 nos mostra todos os componentes montados e conectados.

Figura 45 - Inversor e proteções conectados



Fonte: Autoria Própria

4.11 COMISSIONAMENTO

O comissionamento é um procedimento que visa certificar se todos os parâmetros do sistema estão de acordo com os projetados. Nele, são realizadas as medições de tensão CA e CC e aperto dos terminais de proteções e checagem de conectores. Também são conferidos se os componentes são os que foram especificados em projeto e de acordo com o esquema unifilar recebido.

Os comissionamentos devem ser realizados por um profissional devidamente capacitado, com os EPIs de segurança adequados, pois essa instalação já possui pontos energizados que apresentam riscos ao operador.

Local de instalação adequado

O local de instalação deve ser adequado aos critérios estabelecidos pelo manual, tanto para que haja uma boa ventilação possibilitando o equipamento resfriar, quanto para futuras operações e manutenções.

Verificar características dos equipamentos

Os equipamentos instalados devem ter as mesmas características descritas em projeto. Assim é necessário que seja feita uma inspeção visual para confirmar se os componentes do sistema fotovoltaico são os corretos, os principais itens que devem ser checados são: inversor, proteções AC e DC, pontos de aterramento, padrão de entrada e barramento.

- Proteção CA – Na proteção CA devemos nos certificar que os disjuntores, cabos utilizados e DPSs são compatíveis com os definidos no diagrama unifilar, caso não sejam será necessária a imediata troca.
- Proteção CC – A proteção CC apresenta uma chave seccionadora e DPSs de proteção CC, esses itens devem conter as suas especificações condizentes com o diagrama unifilar conforme é na proteção CA.
- Inversor – O inversor deve ser o de modelo descrito em projeto e com potência nominal igual, essas informações podem ser confirmadas em um adesivo colado no inversor que contém as especificações técnicas do aparelho conforme a figura 46.
- Padrão de entrada e Barramento – Esses componentes passarão por vistoria da concessionária também. São a parte que interligam o sistema fotovoltaico ao sistema de distribuição de energia da concessionária. Eles são parte fundamental no bom funcionamento do sistema e todos os seus componentes devem ser de acordo com o diagrama unifilar do projeto aprovado pela concessionária. Uma placa com o aviso de geração própria deve ser fixada próxima a caixa de medição conforme mostra a figura 46.

Figura 46 - Ficha de dados do inversor



Fonte: Autoria Própria

Figura 47 - Padrão de Entrada



Fonte: Autoria Própria

Medições CA e CC

As medições CA e CC são feitas para que se possa saber se esses parâmetros estão dentro dos limites de operação do equipamento, e também indicam se há algum possível problema na instalação. Para isso, essas medições devem ser realizadas antes de testar o equipamento para que não seja danificado. Nessa etapa deve-se medir: tensão nos conectores MC4, tensão nos terminais CC, tensão no conector CA, tensão nos terminais dos disjuntores de proteção CA, tensão terminais DPSs proteção CA, tensão no barramento de conexão. As Figuras de 48 a 52 mostram os procedimentos de medições realizadas nas proteções do inversor e que fazem parte do procedimento de comissionamento.

É necessário estar ciente das especificações técnicas do inversor para que nenhuma tensão ultrapasse os limites máximos estabelecidos pelo fabricante. Caso alguma situação de desconformidade seja encontrada, é necessário que a equipe de instalação realize as correções indicadas para que os parâmetros do sistema estejam compatíveis com os de projeto e seguros para o bom funcionamento do equipamento.

Figura 48 - Medição CC na *combiner box*



Fonte: Autoria Própria

Figura 49 - Medição CC no MC4



Fonte: Autoria Própria

Figura 50 - Medição CA no disjuntor de proteção



Fonte: Autoria Própria

Figura 51- Medição CA no DPS



Fonte: Autoria Própria

Figura 52 - Medição CA no conector CA



Fonte: Autoria Própria

Teste do Inversor

Uma vez que todos os parâmetros do sistema estão conformes e seguros para o bom funcionamento do equipamento, podemos realizar a primeira ligação do sistema. Essa etapa é essencial para identificar possíveis defeitos de fábrica ou mal funcionamentos dos componentes instalados. As proteções podem apresentar pontos quentes ou até mesmo o inversor ser um equipamento defeituoso.

É importante lembrar que não é permitido que o equipamento seja deixado em funcionamento para outros fins além dos procedimentos de teste, pois o sistema só poderá entrar em pleno funcionamento após a vistoria da concessionária e homologação do sistema. Na Figura 53 mostra-se uma situação de teste do sistema.

Figura 53- Sistema fotovoltaico ligado



Fonte: Autoria Própria

5. CONCLUSÃO

Com a organização dos procedimentos de trabalho e experiências práticas, foi possível estabelecer um modelo de manual que consiga relacionar o projeto desenvolvido com um sistema fotovoltaico de potência até 15 kWp.

Os procedimentos para a instalação dos módulos fotovoltaicos não se restringem somente à forma como os módulos serão dispostos no telhado, o manual também traz observações sobre como se locomover de forma segura e evitando prejuízos à estrutura existente, assim podendo evitar a possibilidade de infiltrações indesejadas que gerariam prejuízos para o contratante.

A instalação do inversor e proteções CA e CC deve ser feita por profissionais capacitados e providos dos equipamentos de segurança necessários para uma realização segura do trabalho, os colaboradores também são parte essencial na melhoria do processo. O comissionamento do sistema também garante que não haja fatores que causem riscos de mal funcionamento dos aparelhos. Nessa etapa é necessário que todos os itens sejam conferidos e estejam conforme orienta o projeto por meio do esquema unifilar.

Estabelecendo os passos que devem ser tomados em uma instalação elétrica dessa natureza, é possível obter uma melhoria contínua do processo de instalação, assim podemos aumentar a confiabilidade do sistema e eliminar os riscos existentes de trabalho.

O manual utiliza instalações realizadas em telhados de fibrocimento e estrutura de madeira, sendo assim é necessário que o instalador tome conhecimento dos métodos de instalação que serão necessários para estruturas de outros tipos. Essas orientações podem ser obtidas diretamente do manual dos equipamentos que estarão sendo utilizados.

Após a conclusão da instalação e realização das medições, por fim, deve-se fazer a ligação do inversor e realizar um curto teste de funcionamento, deixando-o chegar a condições próximas das de operação no dia a dia. Se os aparelhos e as proteções não apresentarem um bom funcionamento, o ideal é que o responsável pela instalação seja avisado para tomar as medidas necessárias para a redução dos prejuízos. No caso de um bom funcionamento durante os testes o sistema deve ser desligado e a obra entregue para que a vistoria da concessionária seja solicitada.

Por fim, esse trabalho sugere que como possibilidade de trabalhos futuros o aprimoramento do manual, com adição de mais procedimentos para o processo de comissionamento e instrução para instalação de micro inversores.

6. REFERÊNCIAS

GERAÇÃO DISTRIBUIDA DE ENERGIA (GD): O QUE É, REGRAS, BENEFÍCIOS E COMO FAZER PARTE. Portal Solar, [S.D] .Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>> Acesso em 29 de julho de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.059, DE 7 DE FEVEREIRO DE 2023 Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>>

Brasil. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Casa Civil Sub Chefia para Assuntos Jurídicos, DF.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito; Energia Solar: Princípios e Aplicações. Tutorial Solar, 2006.

Executive Summary. Energy security concerns and new policies lead to largest ever upward revision of IEA's renewable power forecast. IEA 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-2022/executive-summary>>. Acesso em 10 de agosto de 2023.

GÓMEZ, J.M. Rodríguez; Carlesso F.; Vieira L. E.; Silva L. Da. A irradiância solar: conceitos básicos. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, vol. 40, nº 3, e 3312 (2018).

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPTEL- CRESESB. 2014.

ZILES, Roberto et al. Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Belém: Editora Oficina de Texto. 2012.

PINHO, João; GALDINO, Marco. MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. Rio de Janeiro: [s. n.], 2014.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. 224 p.

BRASIL (a), Ministério do Trabalho e do Emprego. NR-06 – Equipamentos de Proteção Individual. Brasília, 2011.

BRASIL (b), Ministério do Trabalho e do Emprego. NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, 2004.

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. Manual de auxílio na interpretação e aplicação da norma regulamentadora nº 35 – trabalhos em altura. NR 35 Comentada, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.