JULIANA SILVA BISPO
ROGER ERNANDES ROCHA NUNES

Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede para uma Residência

Salvador
2025

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

B622d Bispo, Juliana Silva

Dimensionamento de sistema solar fotovoltaico conectado à rede para uma residência / Juliana Silva Bispo; Roger Ernandes Rocha Nunes; orientadora Francismar Noronha dos Santos -- Salvador, 2025.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Eletrotécnica) -- Instituto Federal da Bahia, 2025.

1. Geração fotovoltaica. 2. On-grid. 3. Solar. 4. Energia. I. Nunes, Roger Ernandes Rocha, colab. II. Santos, Francismar Noronha dos, orient. III. TÍTULO.

CDU 621.472

JULIANA SILVA BISPO
ROGER ERNANDES ROCHA NUNES

Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede para uma Residência

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Eletrotécnica como parte dos requisitos necessários para a conclusão do curso técnico em Eletrotécnica.

Orientadora: Msc. Francismari Noronha dos Santos

Salvador
2025

AGRADECIMENTOS

Aqui, gostaríamos de agradecer à Prof.a Msc. Francismari Noronha dos Santos que aceitou nos orientar nessa jornada e por toda paciência que teve conosco ao longo deste trabalho, bem como aos professores Carlos d Alexandria Bruni e Eduardo Fillipo Oliveira Allata, os quais nos ajudaram nessa caminhada de pesquisa.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre o custo benefício da implantação de um sistema de geração energética fotovoltaica *on-grid,* em uma instalação residencial, para atendimento de consumo individual e parte coletiva, pois, parte da edificação estudada é voltada para o atendimento ao público (salão de beleza), constatando que, ao Estado brasileiro e aos usuários, a adesão desta matriz seria mais rentável econômica e ambientalmente para suprir às demandas provindas de residências, diversificando a matriz energética brasileira. Para isso, foi feito um projeto elétrico, dimensionando condutores, painéis solares, dispositivos de proteção, etc., seguindo as principais recomendações das normas NBR-5410, DIS-NOR-030, DIS-NOR-053, NBR-16274 e a NBR- 16149. Por fim, foram feitas sugestões para melhorias e adequação às normas.

Palavras-chave: Geração Fotovoltaica, *On-grid*, Residência, Solar, Energia.

ABSTRACT

This paper presents a case study on the cost-benefit of implementing an on-grid photovoltaic energy generation system in a residential facility, to serve individual and collective consumption, since part of the scientific building is external to serve the public (beauty salon). It was found that, for the Brazilian State and users, the adoption of this matrix would be more profitable economically and environmentally to meet the demands coming from residences, diversifying the Brazilian energy matrix. For this purpose, an electrical project was made, dimensioning conductors, solar panels, protection devices, etc., following the main recommendations of standards NBR-5410, DIS-NOR-030, DIS-NOR-053, NBR-16274 and NBR-16149. Finally, suggestions were made for improvements and adaptation to the standards.

Keywords: Photovoltaic Generation, On-grid, Residence, Solar, Energy.

Sumário

RESUMO 5
ABSTRACT 6
LISTA DE FIGURAS 8
LISTA DE SÍMBOLOS 9
LISTA DE TABELAS 10
1. INTRODUÇÃO 11
1.1. OBJETIVOS 13
2. REFERENCIAL TEÓRICO 15
2.1.SEMICONDUTORES 15
2.2.ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA 16
2.3.CÉLULAS FOTOVOLTAICAS 17
2.4.SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE 20
2.5.INVERSOR CC - CA 21
2.6.MEDIDOR BIDIRECIONAL 23
2.7.ESTRUTURA DE FIXAÇÃO 24
3. METODOLOGIA 25
3.1.NORMAS REGULAMENTADORAS 25
3.2.DIMENSIONAMENTO DO PAINEL SOLAR 27
3.5.DISTRIBUIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS NA EDIFICAÇÃO 40
3.7.DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO PARA O CIRCUITO CC 47
3.8.DIMENSIONAMENTO DA BITOLA DO CIRCUITO CA 48
3.9. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO PARA O CIRCUITO CA 50
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 52
5. CONCLUSÃO 56
REFERÊNCIAS 57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis de energia 16
Figura 2 - Ligação covalente entre átomos de silício e um de antimônio 18
Figura 3 - Ligação covalente entre átomos de silício feita com um de índio 18
Figura 4 - Componentes de uma Célula Fotovoltaica 19
Figura 5 - Exemplo de um sistema On-Grid 21
Figura 6 - Topologia de um conversor CC - CA 22
Figura 7 - Funcionamento dos transistores 22
Figura 8 - Exemplo de modulação PWM 23
Figura 9 - Onda senoidal Pura 23
Figura 10 - Exemplo do funcionamento do tracker de painel solar 24
Figura 11 – Conta de energia da residência estudada 29
Figura 12 - Cálculo no plano inclinado 31
Figura 13 - Determinação do índice solarimétrico 32
Figura 14- Foto da placa escolhida 35
Figura 15 – Foto do inversor escolhido 38
Figura 16 – Foto do telhado da casa 38
Figura 17 Planta baixa da residência estudada 39
Figura 18 – String da casa posicionada no telhado 40
Figura 19 - Foto do quadro de proteção CC 41
Figura 20 - Foto do quadro de proteção CA 42
Figura 21 – Representação da conexão entre gerador e medidor 43
Figura 22 – Arranjo dos quadros de proteção e do inversor 44
Figura 23 - Representação do circuito CC 44
Figura 24 - Representação do circuito CA 48
Figura 25 - Diagrama multifilar da geração 52
Figura 26 - Cálculo Solar 54

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
≈	Aproximadamente
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Contínua
DDP	Diferença de Potencial
≠	Diferente
/	Divisão
β-	Elétron
e-	Elétron
∴	Então
±	Mais ou Menos
PWM	Pulse Width Modulation
u%	Queda de Tensão
R$	Reais
η	Rendimento
ρ	Resistividade
∑	Somatória

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das Placas ……..……..……...……. 32
Tabela 2 - Dados do Inversor …….…….…….……. 35
Tabela 3 - Compatibilidade dos equipamentos ……...…….. 36
Tabela 4 - Parâmetros do Quadro de Proteção CC ……..……..…..……... 40
Tabela 5 - Características do quadro de proteção CA ……..…. 41
Tabela 6 - Relação Materiais x Custos …….……..… 52

1.INTRODUÇÃO

Já é possível perceber, com base no que é apresentado pelos noticiários, que o planeta Terra tem enfrentado uma crise ambiental; zonas urbanas estão ficando inundadas, as condições meteorológicas estão se tornando severas, recursos hídricos e energéticos estão ficando obsoletos, etc. O que está sendo negligenciado, muitas vezes, é que tal crise, impulsionada pelas mudanças climáticas, são oriundas dos impactos consequentes dos hábitos humanos, como o consumismo exacerbado, as explorações ambientais crescentes e a artificialização do meio natural, pois requerem uma produção em grande escala, além do nível de sobrevivência, de modo que se extrai da natureza mais recursos do que esta é capaz de reconstituir.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o aumento populacional, o esgotamento de recursos e seu consumo inconsciente contribuem para o agravamento de um cenário impertinente social, sustentável e economicamente. Considerando que tais fatores interferem diretamente em questões energéticas, uma vez que, o aumento populacional, o consumismo exacerbado e o uso inconsciente solicitam um fornecimento maior de uma eletricidade que, hodiernamente, no Brasil, advém de uma matriz elétrica não diversificada, acabando por contribuir aos processos de exploração ambiental, à artificialização do meio natural e à extração de recursos que, por conseguinte, geram óbices sociais, ambientais e econômicos à população e ao Estado, faz-se necessário discutir a adesão de métodos alternativos de geração de energia que gerem menos impactos negativos.

Dentre os efeitos provenientes dessa matriz uniformizada, que engloba majoritariamente hidrelétricas e termelétricas, pode-se citar alguns, como: Liberação de gases contribuintes para a deflagração do efeito estufa na atmosfera (termelétricas) - inundações de grandes áreas (hidrelétricas) - elevados custos de projetos que viabilizam setores eletrointensivos, acarretando no endividamento dos governos e na inviabilidade de investimentos sociais (ambos métodos de geração) - intensificação dos processos erosivos e assoreamento do solo (hidrelétricas) - destruição de ecossistemas (ambos) - proliferação de pragas e doenças, como malária, dengue, doenças respiratórias, dermatológicas, diarreicas e psicossociais, como depressão (UHEs) - remoção e reassentamento de núcleos urbanos, ribeirinhos e da população isolada (UHEs)- destruição da economia em vilas à jusante da usina,

gerando incidência de pobreza e elevação na taxa de desocupação, bem como orçamentos preliminares na casa de milhões de dólares (Guerra, 1995 ; Araújo e Moret, 2016). Além disso, é importante ressaltar o impacto financeiro sobre o consumidor, decorrente dos preços adicionais repassados na conta de energia por meio de tarifas que calculam os gastos com a distribuição e transmissão da eletricidade, além da condição para a produção de energia naquele momento (bandeira tarifária). Contudo, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regulamenta e padroniza essas tarifas para evitar super taxações aos usuários.

Por tal razão, é importante adotar uma postura colaborativa, cobrando do governo e incentivando pessoas a adquirirem um novo método de geração de energia, a partir do uso de uma fonte renovável, como o sistema solar fotovoltaico on-grid, que gera impactos mínimos, somente durante o período de construção, para atender demandas individuais, diversificando a matriz energética ainda mais e minimizando as sequelas que o globo vem enfrentando.

A energia solar fotovoltaica *on grid* é aquela em que o próprio consumidor gera sua energia, injetando na rede elétrica o excedente, de modo a receber da concessionária um desconto financeiro na sua conta de energia (imposto). Este sistema pode ser aproveitado em qualquer local do país, devido à vantagem brasileira de se localizar em uma região onde a irradiação solar é quase constante, sobretudo no nordeste, descartando a necessidade de transmitir e distribuir energia por redes com cabeamentos longos, de alta bitola e que requerem um grande volume de materiais de suporte, manutenção e outros aspectos dispendiosos, devido à sua característica construtiva (Villalva, 2026).

Por ser uma fonte de geração própria do usuário, o sistema não sofre influência da inflação do custo da energia elétrica (bandeiras tarifárias). Por exemplo: se uma casa adquire a geração fotovoltaica, esta fica imune aos aumentos de preço, garantindo o fornecimento de eletricidade até o tempo médio de vida útil de uma placa solar: 25 anos.

Esse trabalho se justifica pela necessidade do país em aumentar sua oferta de energia. Entretanto, essa ação deve ser integrada de uma nova forma, com o intuito de não prejudicar a sociedade nas áreas econômica, social e ambiental. A utilização da energia solar fotovoltaica, sobretudo em instalações residenciais, já que é uma fonte de energia renovável, proporciona redução na conta de energia, apesar do alto investimento inicial. Além disso, o país possui condições favoráveis de aproveitamento, devido às características físicas do território que apresenta alta incidência de luz solar praticamente durante todo o ano.

Portanto, tem-se por objetivo apresentar um projeto de um sistema fotovoltaico *on-grid*, que atenda à demanda residencial em uma casa com cinco integrantes, e que também funciona como salão de beleza. Ao longo do trabalho será apresentada a metodologia utilizada para dimensionar os componentes que compõem esse sistema, seguindo também os critérios recomendados pelas normas técnicas vigentes.

1.1. OBJETIVOS

- OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é confeccionar um projeto elétrico residencial de um sistema fotovoltaico conectado à rede para uma edificação residencial de forma a seguir as orientações das normas vigentes para instalações de baixa tensão e para sistemas fotovoltaicos: NBR-5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão), DIS-NOR-030 (Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição a Edificações Individuais), NBR-16274 (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede-Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho) e DIS-NOR-031(Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição).

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efetuar medição da área residencial para confecção de planta baixa em programa de Desenho Assistido por Computador (CAD);

- Apresentar memórias de cálculo com previsão de carga, cálculo de demanda, divisão dos circuitos, dimensionamento dos condutores elétricos e eletrodutos, seguindo requisitos da NBR-5410 e da DIS-NOR-030;

- Especificar os dispositivos de proteção elétrica, tais como: disjuntores e DRs, seguindo requisitos das normas NBR-16690 e NBR 16274;

- Confeccionar lista de materiais para execução do projeto;

- Determinar padrão de entrada com base na norma de fornecimento de energia da concessionária local (COELBA).

2**.REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesse tópico são apresentados conceitos que foram importantes para o entendimento do funcionamento de um sistema solar fotovoltaico *on-grid*.

2.1.SEMICONDUTORES

“Os semicondutores são elementos com propriedade elétrica intermediária em relação a condutores e isolantes, como o Silício e o Germânio” (MALVINO, 2008), devido à sua disposição eletrônica nas órbitas atômicas.

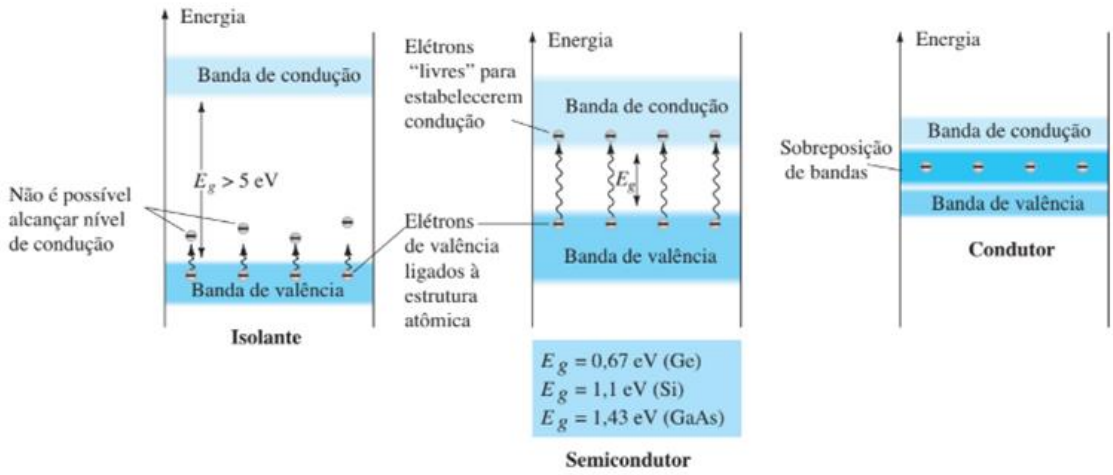
Condutores, por conta da sua configuração quântica, em seu estado natural (não ionizados), têm menos elétrons na camada de valência (última camada com cargas negativas), estando menos propícios a atingir a regra do octeto, na qual se designa o estado de equilíbrio de um átomo (8 β- na camada de valência), por ligações covalentes, pois, gasta-se menos energia desvinculando uma única partícula da sua estrutura atômica do que obtendo 7. Deste modo, a força de atração do núcleo sobre os e^- de um condutor é facilmente suprimida por qualquer perturbação externa, desprendendo-os facilmente da eletrosfera. Essa explicação foi formulada a partir do conhecimento obtido ao verificar as análises químicas do aspecto atômico de alguns materiais descritos por Feltre (2004).

Materiais isolantes, por outro lado, apresentam mais elétrons na camada de valência, constituindo-se, normalmente, como elementos heptavalentes, faltando apenas uma partícula negativa para alcançar o octeto. Assim, será mais eficiente receber as ditas cargas para se estabilizar.

Já os semicondutores apresentam mais ou menos a metade do número de e- necessários para se estabilizar, sendo átomos tetravalentes geralmente. Os elétrons não são desprendidos desse átomo facilmente, mas, com a influência do Sol, estão suscetíveis às influências da fonte de energia térmica cujo efeito é uma agitação molecular capaz de retirá-los de seus níveis. Desta maneira, para Boylestad (2013), semicondutores só conduzirão corrente elétrica quando estiverem em um sistema com calor suficiente para vibrar suas moléculas, designando um efeito fotovoltaico.

Por fim, na figura 1, pode-se evidenciar o esquema de energia necessária para que um material possa conduzir corrente.

Figura 1- Níveis de energia



Fonte: BOYLESTAD, Dispositivos Eletrônicos e Teorias de Circuitos, 2013 p. 6.

2.2.ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A partir do efeito fotovoltaico, no qual converte-se, diretamente, a energia luminosa solar em energia elétrica, por meio de um material semicondutor, obtém-se a geração de uma energia, chamada de solar fotovoltaica, cuja consequência é a formação de uma diferença de potencial (ddp) nos terminais do material (Becquerel, 1839). Esse processo de conversão, em sistemas fotovoltaicos, é mediado por células fotovoltaicas, presentes nos painéis, as quais captam a luz do Sol, gerando uma ddp que, consequentemente, impulsionará o surgimento de uma corrente elétrica contínua no sistema.

Um grande agente impulsionador para a ascensão do uso desta energia foi a corrida espacial entre Estados Unidos e União Soviética, durante o período da guerra fria, por volta de 1947 a 1991, em que os dois países disputavam pelo monopólio do poder imperativo, desenvolvendo tecnologias capazes de levar a federação a um nível de desenvolvimento econômico mais elevado e ocupar o pódio da “competição”.

Na corrida espacial, a missão era conseguir levar o homem ao espaço. Acontece que, inicialmente, a célula solar era a solução mais lógica para captar energia elétrica em um ambiente onde não existe nada: o vácuo. Como no vácuo se pode aproveitar apenas da energia emitida pela irradiação luminosa de algumas estrelas, a qual só consegue se propagar pelo espaço porque é formada por fótons (pequenas partículas que compõem a luz), que representam a “transição de elétrons para um nível mais externo na órbita atômica” (Lewis, 1926), é cabível concluir que a obtenção de energia elétrica só poderia provir do aproveitamento da energia fornecida pelo astro mais próximo.

Pelo seu uso ter sido iniciado de modo restrito às expedições espaciais, as tais células custavam valores altos, na casa dos 600 dólares por watt, mas, com a necessidade de energia para satélites, após a deflagração da crise energética de 1973, renovou e ampliou-se o interesse em aplicações terrestres do sistema solar fotovoltaico, de modo que, atualmente, o custo médio delas é de 8 dólares por Watt (CRESESB,2014).

Adotando esses sistemas para atender a uma demanda individual, desde consumidores residenciais à consumidores industriais, firmou-se a construção de uma infraestrutura adaptada para este perfil de usuário, estando no planeta Terra, que, resumidamente, envolve: painéis, cabos, estruturas de fixação, inversores cc-ca ou armazenagem.

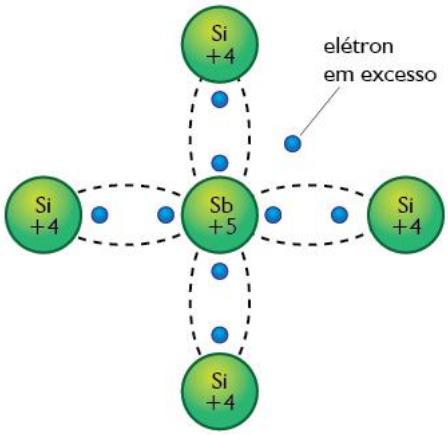
2.3.CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Para Villalva (2016), células fotovoltaicas são os equipamentos responsáveis pela conversão direta da luz em eletricidade, quando a radiação eletromagnética do Sol é incidida sobre elas. Essas células são compostas pela junção de duas finas camadas de material semicondutor: uma do tipo P e a outra tipo N, por uma base metálica e uma grade com coletores metálicos. Assim, antes de compreender o funcionamento da célula para a conversão da luz em eletricidade, é necessário discorrer sobre seus componentes.

- CAMADA SEMICONDUTORA TIPO N

Essa camada é extremamente fina e possui quantidade excedente de elétrons. Esses elétrons livres fluirão para a camada semicondutora tipo P, criando assim um campo elétrico na estrutura interior da célula fotovoltaica (VILALVA, 2016). A figura 2 ilustra como são as ligações covalentes encontradas na camada tipo N.

Figura 2 - Ligação covalente entre átomos de silício e um de antimônio

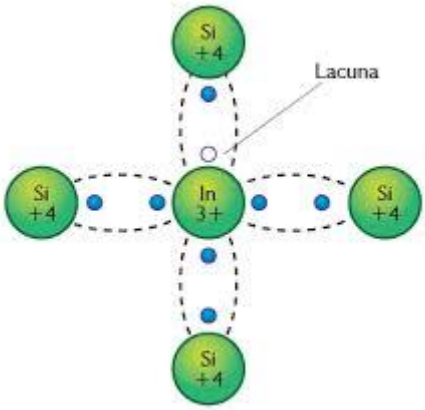


Fonte: Adaptado de Ferreira (1987).

- CAMADA SEMICONDUTORA TIPO P

Essa camada possui menos elétrons do que um semicondutor puro, portando, então, lacunas e funcionando como material positivo na estrutura da célula fotovoltaica (VILALVA, 2016). Na figura 3 é demonstrado como se dão as ligações covalentes da camada tipo P e a presença das lacunas mencionadas.

Figura 3 - Ligação covalente entre átomos de silício feita com um átomo de índio



Fonte: Adaptado de Ferreira (1987).

- GRADE DE COLETORES METÁLICOS

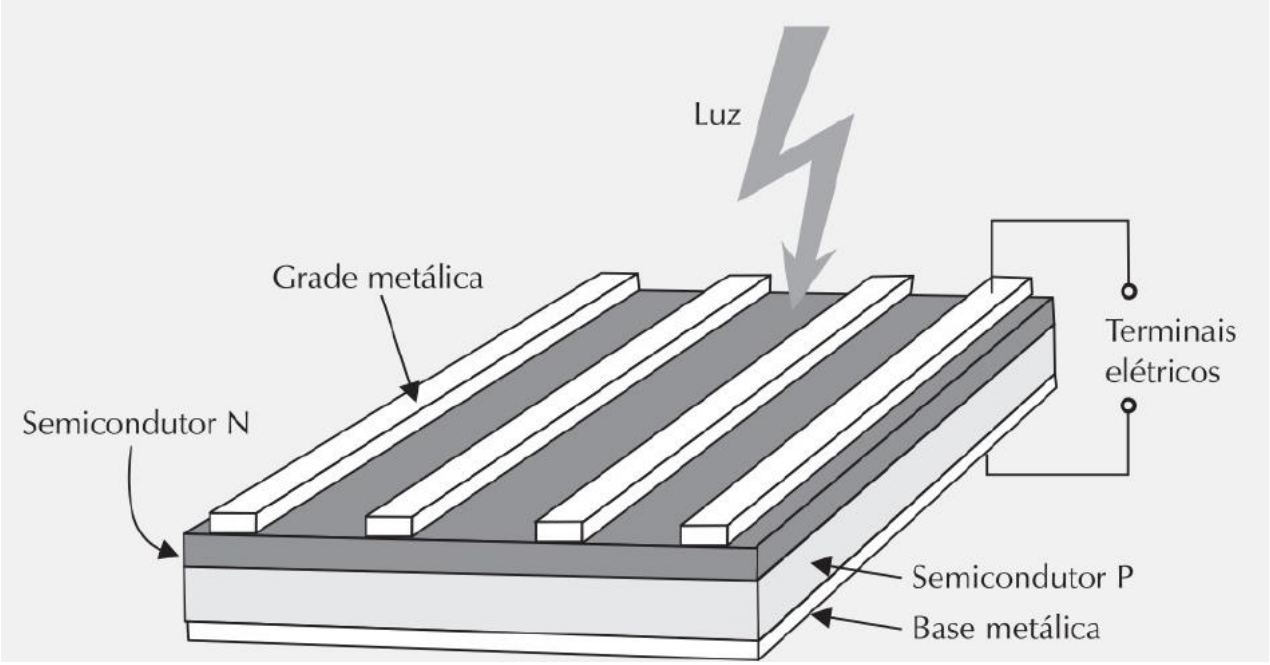
Também chamada de base superior, será aquela que estará em contato com a luz e é composta por um conjunto de condutores finos, de modo a ser translúcido. Cooperando com a base metálica, será responsável por coletar os elétrons em movimento.(VILALVA, 2016).

- BASE METÁLICA

A base metálica, ou base superior, é uma película que pode ser de alumínio, cobre ou de prata que, em junção com a base superior, fará a coleta da corrente elétrica gerada pela ação da luz.

A figura 4 ilustra os componentes de uma célula fotovoltaica e como são posicionados para o funcionamento da célula.

Figura 4 - Componentes de uma célula fotovoltaica



Fonte: VILLALVA, Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações, 2016 p. 64.

Conhecendo os componentes da célula fotovoltaica, é possível entender o seu funcionamento: quando as duas camadas de semicondutores são postas em contato, é formada a junção semicondutor, ocasionando na passagem dos elétrons livres da camada tipo N para as lacunas da camada tipo P. A passagem dos elétrons origina um campo elétrico, que, por consequência, cria uma barreira de potencial entre as camadas e prende os e- e lacunas atrás da barreira. Com a incidência de luz na fina camada tipo N da célula fotovoltaica, os β- ganham energia suficiente para vencer a barreira e se movimentar para a camada P. Nesse processo, uma parte dos elétrons em movimento será coletada pelas lacunas, porém a maioria deles são capturados pelos coletores metálicos e podem conduzir a corrente elétrica gerada.

2.4.SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

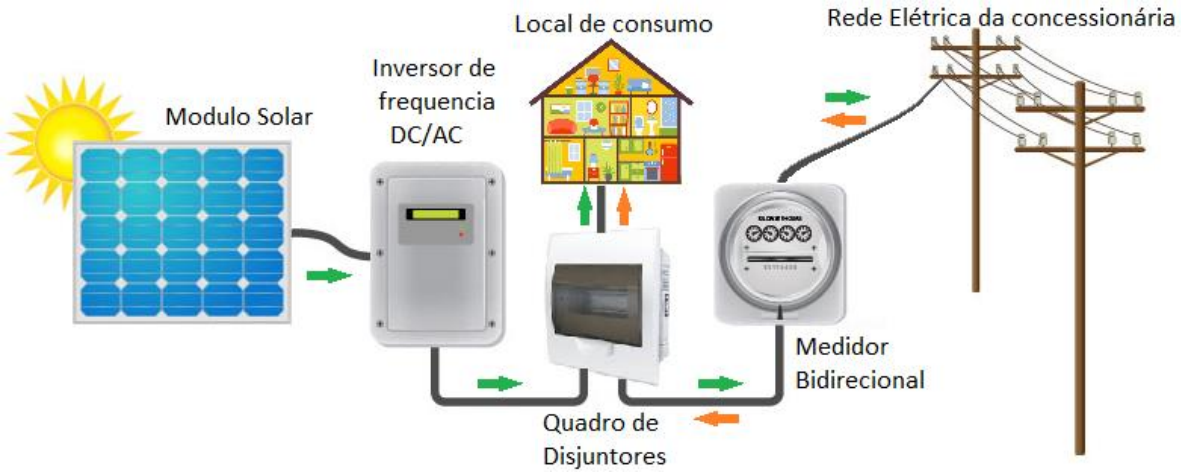
Em um sistema fotovoltaico conectado à rede (on-grid ou grid-tie), é concebida a utilização de um grande número de células, bem como do uso de aparelhos específicos, como o inversor CC-CA, o medidor bidirecional, uma rede de cabeamentos e certas estruturas de fixação, a fim de propiciar, ao consumidor, meios independentes de obter eletricidade para atender às suas demandas, podendo injetar na rede elétrica o que não for consumido.

Tal operação é efetuada com a instalação de arranjos, no telhado do cliente, que, a partir da transformação da energia solar térmica em eletricidade, é capaz de gerar corrente contínua, fazendo-se necessário a utilização de equipamentos eletrônicos capazes de converter corrente contínua em corrente alternada (CA), uma vez que, a rede, com a qual será interligada, está configurada em CA.

Depois de passar pelo inversor, a corrente será guiada, por meio de condutores, para o quadro geral de distribuição (QGD) e, em sequência, será distribuída pelos circuitos e suas respectivas cargas. Um medidor bidirecional inteligente será responsável pela mediação dos fluxos de cargas, tanto nos momentos em que esses fluxos devem ser inseridos no sistema quanto para os momentos em que a concessionária deverá fornecê-los, isto é,quando as placas não estiverem gerando, normalmente, no período da noite ou em épocas de chuva.

Assim, tal método de obtenção de energia elétrica proporciona menos gastos com as contas, representando, consequentemente, uma fonte complementar ao sistema elétrico de potência, como esquematizado na figura 5 (CRESESB, 2014).

Figura 5 - Exemplo de um sistema on-grid

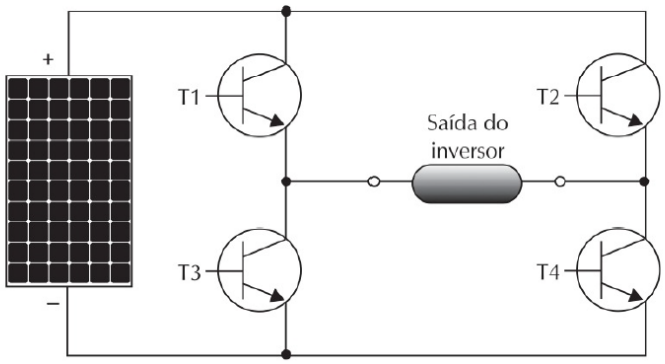


Fonte: Google Imagens.

2.5.INVERSOR CC - CA

Inversores têm finalidades diferentes, dependendo do contexto em que foi instalado. Em sistemas fotovoltaicos on-grid, como explica Villalva (2016), tal equipamento tem como função fornecer corrente, não tensão, de modo que é impossível operá-lo sem fornecimento da concessionária, já que, em casos de subdemanda, injetar-se-ia na rede o que não foi utilizado, pondo em risco a segurança de equipamentos ou operadores do sistema durante a manutenção. Ele é composto, sinteticamente, de chaves eletrônicas (transistores) arranjadas numa ponte tipo H que são abertas e fechadas para transferir a corrente da fonte (painel) para os terminais de saída do inversor, como na figura 6.

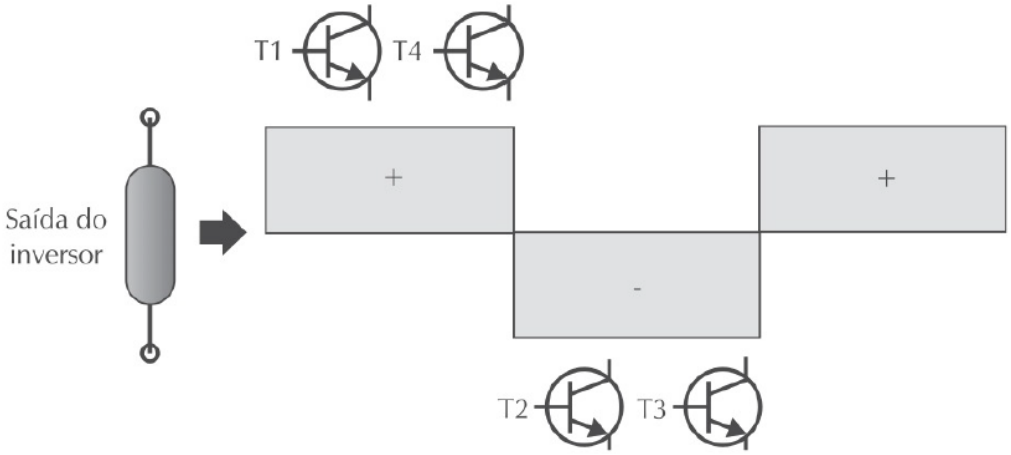
Figura 6 - Topologia de um conversor CC - CA



Fonte: VILALVA, Energia Solar Fotovoltaica: Conceito e Aplicações, 2016, p.118.

Quando os transistores, cujas bases são disparadas por um sistema de microcontroladores, de uma diagonal da ponte H são ligados, a tensão de saída, nos terminais do inversor, é positiva. Mas, ao energizar a outra diagonal, inverte-se o sentido de polaridade, formando-se, assim, uma corrente de saída com formato de onda quadrada, ilustrada pela figura 7.

Figura 7 - Funcionamento dos transistores



Fonte: VILALVA, Energia Solar Fotovoltaica: Conceito e Aplicações, 2016, p.119.

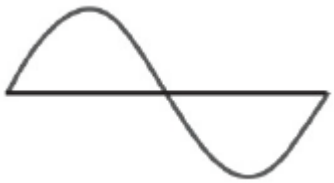
Para que a tensão se torne uma forma de onda senoidal pura, é necessário criar um processo de modelagem, chamado PWM (modulação por largura de pulso), no qual cada diagonal de transistores será chaveada alternadamente, gerando pulsos de corrente com tempo diferente, ocasionando no surgimento de uma forma de onda modulada em que os pulsos representarão períodos com larguras variadas, assim representada na figura 8:

Figura 8 - Exemplo de modulação PWM

Fonte: VILALVA, Energia Solar Fotovoltaica: Conceito e Aplicações, 2016, p.123.

Esse tipo de onda, seguindo os princípios de Fourier (1822), apresenta harmônicas (conjunto de funções minoritárias que conjecturam uma onda maior) tão desprezíveis, de modo que a sua fundamental (onda mais energética) é muito mais expressiva, sendo facilmente filtradas para formar uma onda senoidal pura, conforme a figura 9.

Figura 9 - Onda senoidal pura



Fonte: VILALVA, Energia Solar Fotovoltaica: Conceito e Aplicações, 2016, p.123.

2.6.MEDIDOR BIDIRECIONAL

Explicado por Pinto Filho (2019), os medidores bidirecionais, também chamados de medidores inteligentes (SMART METER), como qualquer outro medidor de energia, advém da construção de dispositivos, em um instrumento, capazes de obter valores de tensão e corrente a partir dos seus sinais de entrada adquiridos por medições de sensores, que são multiplicados, através de unidades aritméticas. Com isso, após ser processado pela unidade aritmética, chega-se a um certo resultado de potência, a qual, posteriormente, é integrada e distribuída ao consumidor. Desde o momento da sua integração, por meio de integradores, seu valor é registrado. Este instrumento realiza medições, utilizando transdutores para diminuir os sinais à valores aceitáveis, enviando-os a circuitos integrados ou microcontroladores. Sua especificidade é, em relação aos demais, ser capaz de computar a energia independentemente do sentido do fluxo de potência, possuindo um registrador

diferente para energias que fluem em dois sentidos, portanto, sendo comumente utilizados em setores onde a análise do sentido do fluxo é importante, como é o caso dos consumidores que possuem sistema solar fotovoltaico. Em síntese, esse instrumento tem multifunções, desempenhando o papel de unidade aritmética, de integrador, registrador, indicador e controlador.

2.7.ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

Uma das observações feitas por Caires (2014\0 é que, ao se instalar um arranjo (conjunto de células que formam um painel fotovoltaico), deve-se ponderar a posição em que ficam melhor alocadas, já que, seu rendimento é dependente do ângulo em que a placa é instalada para que capte melhor os raios solares na latitude e longitude do ambiente em que se encontra, considerando que este arranjo permanecerá estático sobre o telhado do consumidor. Por outro lado, há a alternativa de se utilizar sistemas móveis que melhoram a eficiência do sistema, pois acompanham o sentido da radiação solar que varia, devido aos movimentos de rotação e translação da Terra (CAIRES, 2014). Para tal, faz-se necessário usar um equipamento que realiza a movimentação das placas, acompanhando as incidências solares, conhecido como Tracker. Seus deslocamentos estão intrinsecamente relacionados ao horário do dia, bem como a época do ano e a localização do painel. A figura 10 ilustra o sentido de movimento usual dos trackers.

Figura 10 - Exemplo do funcionamento do tracker de painel solar

Fonte: Energês, 2022.

3.METODOLOGIA

Neste tópico, serão apresentados os métodos que foram utilizados para dimensionar o projeto fotovoltaico *on-grid* para uma residência que possui uma parte comercial. Será feito o levantamento das normas que regulamentam a sua implantação, indicando o recurso solar disponível, a localização e o valor de demanda (valor médio de consumo) adquirido na conta de energia elétrica do local. Além disso, é apresentado o dimensionamento das placas solares, bem como do inversor CC - CA para o funcionamento do sistema, seguindo as recomendações de Villalva (2016).

3.1.NORMAS REGULAMENTADORAS

- NBR 16274 (2014):

Norma que estabelece os requisitos para: documentação - detalhando as informações mínimas necessárias após a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede- monitoramento - indicando a informação mínima que deve ser fornecida após a verificação inicial ou periódica do sistema- inspeção e ensaios de comissionamento- avaliando o desempenho do sistema a partir dos procedimentos mínimos necessários para se constatar o desempenho do sistema on-grid após o início de sua operação.

- IEC 62109 (2010):

Se aplica ao equipamento de conversão de energia (inversor cc-ca) para sistemas fotovoltaicos, onde um nível técnico de segurança é necessário. Define os requisitos mínimos para o projeto e fabricação de conversores, proteção contra choque elétrico, incêndio, perigos mecânicos e outros, além das medidas cautelosas para corrente contínua. Inversores cobertos por esta norma englobam àqueles utilizados em sistemas off-grid, on-grid e híbrido, podendo ser fornecidos por módulos fotovoltaicos únicos ou múltiplos agrupados em várias configurações de matriz e ser destinados ao uso em conjunto com baterias ou outras formas de armazenamento de energia.

- DIS-NOR-031 (2022):

Norma que tem como objetivo fornecer orientações básicas e os requisitos técnicos para as novas conexões ou alterações de conexões existentes de unidades consumidoras que façam adesão ao sistema solar fotovoltaico com microgeração ((potência menor ou igual a 75 kW) distribuída para o grupo Neoenergia (concessionária baiana) bem como a projetos de conexão de microgeração distribuída à rede de baixa tensão e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

- NBR 5410 (2008):

Norma que estabelece as condições necessárias para satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens, aplicando-se principalmente às instalações residencial, comercial, pública, industrial, de serviços, agropecuária, hortigranjeira e as pré-fabricadas. É aplicável também em áreas, externas às edificações, trailers, locais de acampamento, marinas e instalações análogas, canteiros de obra, feiras, exposições e instalações temporárias, desde que os circuitos sejam alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1 000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1 500 V em corrente contínua.

- NBR 16690 (2019):

Estabelece pré-requisitos para instalação de um arranjo fotovoltaico, sua disposição sobre os condutores, escolha e dimensionamento de dispositivos de proteção e/ou manobra, como disjuntores, Drs etc., aterramento e equipotencialização do sistema, bem como da interligação de pequenas unidades de condicionamento de potência em corrente contínua para conexão a um ou dois módulos. Seu objetivo é especificar os requisitos de segurança, pois sistemas em CC trazem riscos adicionais em relação àqueles previstos em CA, como a capacidade de produzir e sustentar arcos elétricos que apresentam correntes acima do nominal. Ao ser aplicada em sistemas fotovoltaicos on-grid, precisa trabalhar em conformidade com as duas partes da norma IEC 62109.

A NBR 16274 não se aplica aos arranjos fotovoltaicos menores que 100 Wp ou com tensão de circuito aberto menor que 35 Vcc ou maior que 1 500 Vcc.

3.2.DIMENSIONAMENTO DO PAINEL SOLAR

O primeiro passo a se tomar, durante a elaboração do projeto, é dimensionar o número de painéis necessários para atender a demanda da edificação já instalada para que, posteriormente, se possa designar a melhor forma de conectá-los (série / paralelo / série e paralelo) . Segundo Villalva (2016) para que se possa calcular o número de placas necessário, precisa-se seguir a equação 1:

$$Número\ de\ painéis = \frac{Energia\ do\ sistema}{Energia\ do\ módulo} \quad (1)$$

Onde:

*Energia do sistema = Energia demandada pelo consumidor diariamente;

*Energia do módulo= Energia obtida através de dados da placa escolhida

- Cálculo da Energia do sistema (energia requisitada diariamente):

Consegue-se obter o valor diário de energia demandado da edificação a partir da conta de energia. Como a concessionária local registra a energia consumida ao longo dos meses, faz-se necessário calcular, inicialmente, a média de consumo mensal. Depois, obtendo o resultado da média mensal, divide-se esse valor pelo número médio de dias do mês, determinando o valor de energia solicitada por dia.

A partir da expressão 2 chega-se ao resultado do consumo médio mensal. Com a expressão 3, por sua vez, encontra-se o valor correspondente ao consumo médio diário.

$$Média\ de\ consumo\ mensal = \frac{\sum Energia\ consumida}{Número\ de\ meses} \quad (2)$$

$$Consumo\ diário\ médio = \frac{Consumo\ mensal}{Número\ de\ dias\ do\ mês} \quad (3)$$

Resolvendo as expressões…

$$Média\ de\ consumo\ mensal = \frac{466+359+229+252+235+218+293+338+318+372+344+212+462}{13}$$

$$Média\ de\ consumo\ mensal \approx \frac{4098\ kWh}{13}$$

$$Média\ de\ consumo\ mensal \approx 315\frac{kWh}{mês}$$

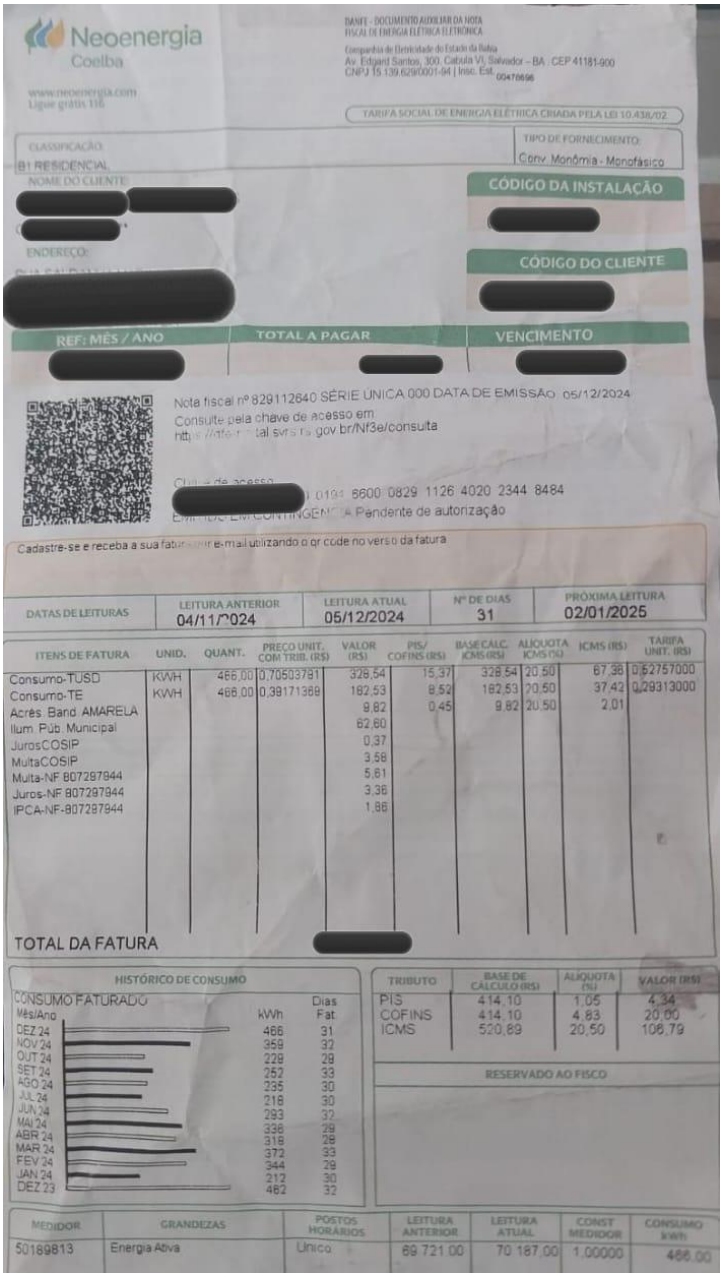
$$Consumo\ diário\ médio = \frac{315\ kWh}{30\ dias}$$

$$Consumo\ médio\ diário = 10{,}5\frac{kWh}{dia}$$

Deste modo, a **Energia do sistema = 10,5 kWh / dia.**

A fim de comprovar os dados utilizados para o cálculo de média de consumo mensal, apresenta-se a figura 11: foto da conta de energia da casa estudada.

Figura 11 - Conta de energia da residência estudada



Neoenergia Coelba

DANFE - DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA

Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
Av. Edgard Santos, 300, Cabula VI, Salvador – BA | CEP 41181-900
CNPJ 15.139.629/0001-94 | Insc. Est. 00478696

www.neoenergia.com
Ligue grátis 116

TARIFA SOCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA CRIADA PELA LEI 10.438/02

CLASSIFICAÇÃO: B1 RESIDENCIAL
TIPO DE FORNECIMENTO: Conv. Monômia - Monofásico

NOME DO CLIENTE: [redacted]

ENDEREÇO: [redacted]

CÓDIGO DA INSTALAÇÃO: [redacted]

CÓDIGO DO CLIENTE: [redacted]

REF: MÊS / ANO	TOTAL A PAGAR	VENCIMENTO
[redacted]	[redacted]	[redacted]

Nota fiscal nº 829112640 SÉRIE UNICA 000 DATA DE EMISSÃO: 05/12/2024
Consulte pela chave de acesso em http://nfe.fazenda.sefaz.ba.gov.br/NF3e/consulta

Chave de acesso: [redacted] 0191 8600 0829 1126 4020 2344 8484
EMITIDA EM CONTINGÊNCIA Pendente de autorização

Cadastre-se e receba a sua fatura por e-mail utilizando o qr code no verso da fatura

DATAS DE LEITURAS	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	Nº DE DIAS	PRÓXIMA LEITURA
	04/11/2024	05/12/2024	31	02/01/2025

ITENS DE FATURA	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT. COM TRIB. (R$)	VALOR (R$)	PIS/ COFINS (R$)	BASE CALC. ICMS (R$)	ALÍQUOTA ICMS (%)	ICMS (R$)	TARIFA UNIT. (R$)
Consumo-TUSD	KWH	466,00	0,70503781	328,54	15,37	328,54	20,50	67,36	0,52757000
Consumo-TE	KWH	466,00	0,39171369	182,53	8,52	182,53	20,50	37,42	0,29313000
Acrés. Band. AMARELA				9,82	0,45	9,82	20,50	2,01	
Ilum. Púb. Municipal				62,60					
JurosCOSIP				0,37					
MultaCOSIP				3,58					
Multa-NF 807297944				5,61					
Juros-NF 807297944				3,36					
IPCA-NF-807297944				1,86					
TOTAL DA FATURA				[redacted]					

HISTÓRICO DE CONSUMO

CONSUMO FATURADO

Mês/Ano	kWh	Dias Fat
DEZ 24	466	31
NOV 24	359	32
OUT 24	229	28
SET 24	252	33
AGO 24	235	30
JUL 24	218	30
JUN 24	293	32
MAI 24	336	29
ABR 24	318	28
MAR 24	372	33
FEV 24	344	29
JAN 24	212	30
DEZ 23	462	32

TRIBUTO	BASE DE CÁLCULO (R$)	ALÍQUOTA (%)	VALOR (R$)
PIS	414,10	1,05	4,34
COFINS	414,10	4,83	20,00
ICMS	520,89	20,50	106,79

RESERVADO AO FISCO

MEDIDOR	GRANDEZAS	POSTOS HORÁRIOS	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	CONST MEDIDOR	CONSUMO kWh
50189813	Energia Ativa	Único	69.721,00	70.187,00	1,00000	466,00

Fonte: Neoenergia, 2024.

- Cálculo da Energia do módulo

Villalva (2016) diz que a energia do módulo pode ser adquirida a partir da expressão número 4.

$$Energia\ do\ módulo = \eta\ da\ placa \times índice\ solarimétrico \times Splaca \quad (4)$$

Onde:
*η da placa = eficiência / rendimento da placa;
*S placa = área placa.

O índice solarimétrico é encontrado levando em consideração o local onde se encontra a residência estudada. O rendimento da placa é fornecido pelo fabricante. Sua área é calculada a partir dos dados de largura e comprimento da placa fornecidos pelo fabricante.

1. Determinação do índice solarimétrico da região:

É encontrado o índice solarimétrico da região, a partir da latitude e longitude do local, na tabela do site SUNDATA (site do CRESESB) disponível em: https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&, mostrado na figura 12:

A casa estudada está localizada no bairro da Caixa d'Água - Salvador, BA.

- Latitude da residência: -12.95844º
- Longitude da residência: -38.49026º

Inserindo os dados na plataforma, obtém-se as irradiações registradas em estações próximas da edificação, ilustradas pela figura 12.

Figura 12 - Cálculo no plano inclinado

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Oceano Atlantico
Município: Oceano Atlantico -
Latitude: 13,001° S
Longitude: 38,449° O
Distância do ponto de ref. (12,95844° S; 38,49026° O) :6,5 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	6,39	6,16	5,91	4,71	4,07	3,79	4,05	4,69	5,44	5,76	6,05	6,33	5,28	2,60
☑	Ângulo igual a latitude	13° N	5,93	5,93	5,94	4,97	4,47	4,25	4,52	5,05	5,58	5,62	5,88	5,83	5,31	1,69
☑	Maior média anual	9° N	6,09	6,02	5,95	4,91	4,36	4,13	4,39	4,96	5,56	5,68	5,82	6,00	5,32	1,96
☑	Maior mínimo mensal	33° N	4,87	5,16	5,55	5,00	4,75	4,65	4,89	5,22	5,38	5,02	4,75	4,72	5,00	,91

Estação: Salvador
Município: Salvador , BA - BRASIL
Latitude: 12,9° S
Longitude: 38,449° O
Distância do ponto de ref. (12,95844° S; 38,49026° O) :7,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	6,16	6,06	5,73	4,58	3,95	3,69	3,92	4,47	5,23	5,61	5,88	6,23	5,13	2,54
☑	Ângulo igual a latitude	13° N	5,73	5,83	5,76	4,82	4,33	4,14	4,36	4,80	5,36	5,48	5,52	5,74	5,16	1,69
☑	Maior média anual	9° N	5,88	5,92	5,77	4,76	4,23	4,02	4,25	4,72	5,34	5,54	5,65	5,91	5,17	1,91
☑	Maior mínimo mensal	33° N	4,72	5,08	5,39	4,84	4,60	4,51	4,71	4,96	5,16	4,89	4,63	4,65	4,85	,88

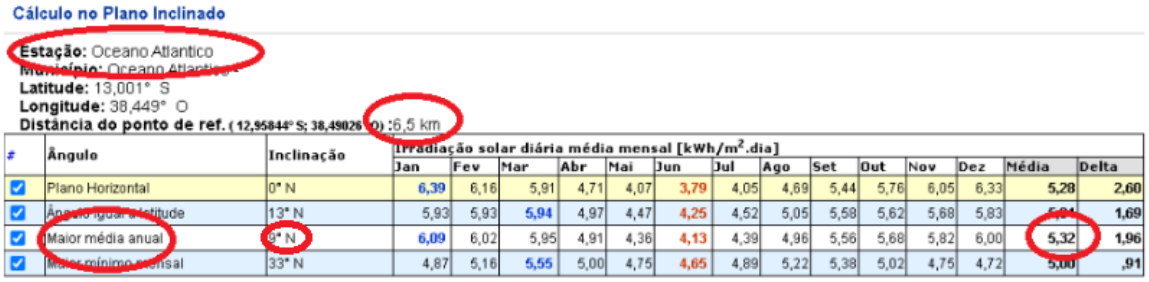
Estação: Salvador
Município: Salvador , BA - BRASIL
Latitude: 13,001° S
Longitude: 38,549° O
Distância do ponto de ref. (12,95844° S; 38,49026° O) :7,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	6,44	6,29	6,04	4,84	4,11	3,86	4,06	4,76	5,52	5,87	6,10	6,48	5,36	2,62
☑	Ângulo igual a latitude	13° N	5,98	6,05	6,07	5,11	4,52	4,34	4,53	5,13	5,67	5,73	5,72	5,96	5,40	1,73
☑	Maior média anual	9° N	6,15	6,15	6,09	5,05	4,41	4,21	4,40	5,04	5,64	5,79	5,86	6,14	5,41	1,94
☑	Maior mínimo mensal	33° N	4,91	5,26	5,68	5,15	4,81	4,75	4,91	5,31	5,46	5,11	4,79	4,81	5,08	,93

Fonte: SUNDATA, 2024.

Foi escolhida a estação mais próxima (Estação do Oceano Atlântico) com 6,5 Km de distância e o ângulo com a maior média anual, concluindo que o **índice solarimétrico** a ser **adotado** para o dimensionamento da placa deve ser: **5,32 kWh/ m².dia**, ressaltado na figura 13.

Figura 13- Determinação do índice solarimétrico



Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Oceano Atlantico
Latitude: 13,001° S
Longitude: 38,449° O
Distância do ponto de ref. (12,95844° S; 38,49026° O) :6,5 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	6,39	6,16	5,91	4,71	4,07	3,79	4,05	4,69	5,44	5,76	6,05	6,33	5,28	2,60
☑	Ângulo igual à latitude	13° N	5,93	5,93	5,94	4,97	4,47	4,25	4,52	5,05	5,58	5,62	5,68	5,83	5,24	1,69
☑	Maior média anual	9° N	6,09	6,02	5,95	4,91	4,36	4,13	4,39	4,96	5,56	5,68	5,82	6,00	5,32	1,96
☑	Maior mínimo mensal	33° N	4,87	5,16	5,55	5,00	4,75	4,65	4,89	5,22	5,38	5,02	4,75	4,72	5,00	,91

Fonte: SUNDATA, 2024.

Através da figura 13, pode-se concluir também que, para que a(s) placa(s) capte(m) melhor a irradiação solar, recomenda-se que ela(s) se posicione(m) à 9º apontada(s) para o norte.

2. Determinação da eficiência e área da placa:

Aqui, encontram-se as especificações do painel que será utilizado, proveniente da empresa Resun, através da tabela 1. Os dados estão disponíveis em: https://www.energyshop.com.br/placa-solar/placa-solar-maior-que-150w/painel-solar-fotovoltaico-resun-330w?parceiro=9109&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAtNK8BhBBEiwA8wVt9xRDR0w45dZwuY-tcJ2jBI8

Tabela 1- Dados das placas

Modelo escolhido	Placa Solar Resun 330W policristalino 330Wp
Número de células	72
Potência máxima	330 Wp
Tensão de Circuito aberto	46,4 V
Corrente de curto circuito	9,23 A
Tensão de máxima potência	37,8 V
Corrente de máxima potência	8,74 A
Eficiência	17,03%
Altura	1956 mm
Comprimento	992 mm
Largura	40 mm

Fonte: Autoria própria.

Lendo a tabela, retira-se, diretamente, o valor correspondente ao η placa que é igual a 17,03%. Entretanto, para que se encontre a área da placa, é preciso resolver a equação 5.

$$Splaca = C \times L \quad (5)$$

* C é o comprimento da placa em metros;

* L é a largura da placa em metros.

Assim:

$$Splaca = 1{,}956\,m \times 0{,}992\,m$$

$$Splaca = 1{,}94\,m^2$$

$$Energia\ do\ módulo = 17{,}03\% \times 5{,}32\frac{kWh}{m^2 dia} \times 1{,}94\,m^2$$

$$Energia\ do\ módulo = 0{,}1703 \times 5{,}32\frac{kWh}{dia} \times 1{,}94$$

$$Energia\ do\ módulo \approx 1{,}76\frac{kWh}{dia}$$

3. Cálculo do número de painéis:

- Energia do sistema = 10,5 kWh/dia;
- Energia do módulo = 1,76 kWh /dia.

Substituindo os valores encontrados na expressão 1:

$$Número\ de\ painéis = \frac{10{,}5\frac{kWh}{dia}}{1{,}76\frac{kWh}{dia}}$$

$$Número\ de\ painéis \approx 6$$

Considerando que o número de painéis não é tão alto e que as grandezas físicas, como tensão, corrente e potência, de cada um também não são elevadas, foi feito um arranjo dessas placas em série, formando uma string.

Deste modo, deve-se determinar a tensão total da string (VS) e sua

corrente total (IS), levando em consideração o seu arranjo em série. As 6 placas serão percorridas pelo mesmo valor de corrente, mas a tensão de cada placa deverá ser somada. Um meio de se achar VS se dá a partir da resolução da equação 6.

$$VS = V\ DE\ CKT\ ABERTO\ \times Nº\ DE\ PAINÉIS \quad (6)$$

Onde:

*V de ckt aberto = tensão de circuito aberto;

*Nº de painéis = número de painéis.

Assim:

$$VS = 46{,}4\,V \times 6$$

$$VS = 278{,}4\,V$$

$$IS = 8{,}74\,A$$

Por fim, a figura 14 mostra uma foto da placa escolhida.

Figura 14 - Foto da placa escolhida

Fonte: Energy shop, 2024.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Para tal, é necessário atender os seguintes critérios descritos por Villalva (2016):

- Verificar se a tensão de circuito aberto da string não ultrapassa o valor máximo de tensão admitido pelo inversor;

- Constatar que a corrente da string não ultrapassa a corrente máxima de entrada do inversor;

- Certificar que a potência do equipamento seja igual ou superior à potência de pico dos módulos.

A tabela 2 apresenta os respectivos dados do equipamento escolhido, do fabricante **DEYE**, disponível em: https://loja.trxsolar.com/inversor-solar/ongrid/inversor-on-grid-3kw?srsltid=AfmBOophVBzkJTMSMOuo-FbB3F3EA7UCARQGQUBhI2p2LUNjzvGBZVHj

Tabela 2 - Dados do inversor

Modelo	SUN - 3K - G I
Máxima potência de entrada	3600 W
Máxima tensão de entrada	500 VCC
Número de fases	MONOFÁSICO
Máxima corrente de entrada	10 A
Máxima corrente de saída	14 A
Tensão de saída	220 V
Comprimento	310 mm
Altura	330 mm

Fonte: Autoria própria.

Conforme os dados, percebe-se que o inversor é compatível com a string, em quesito de corrente máxima, pois, a corrente máxima que fluirá por ela será de 8,74 A. Mas, é necessário averiguar se a tensão gerada pelos 6 módulos, quando estão em circuito aberto e em série, não ultrapassará os 500 Vcc de tensão máxima da entrada do inversor. Como VS é igual a 278,4 VCC, a tensão também é compatível. A potência máxima do inversor é de 3600W e a da placa é de aproximadamente 2433 W, implicando na compatibilidade na potência entre os dois. O ramal de entrada da residência estudada é monofásico em tensão de 220V, então, a saída do inversor teria que fornecer 220V na saída, já que é o valor do monofásico local na região da Caixa d'Água. Verificando as compatibilidades, na tabela 3, pode-se concluir que o **inversor é apropriado.**

Tabela 3 - Compatibilidade dos equipamentos

	Dados do telhado	Dados do inversor	Dados das placas	Compatibilidade
Comprimento	13,9 m	310 mm	992 mm cada	…
Altura	8,6 m	330 mm	1956 mm cada	…
Tensão máxima/ tensão de circuito aberto	…	500 Vcc	278,4 Vcc	OK
Corrente máxima total	…	10 A	8,74 A	OK
Potência máxima total	…	3600 W	2433 W	OK
Número total de painéis	± 6	…	…	OK

Fonte: Autoria própria.

Obs.: A potência máxima das placas foi obtida através da multiplicação de VS e IS.

Por fim, a figura 15 mostra uma foto do inversor escolhido.

Figura 15 - Foto do inversor escolhido

Fonte: TRX solar, 2024.

3.4 POSICIONAMENTO DAS PLACAS NO TELHADO

Como dito, durante a determinação do índice solarimétrico da região onde as placas serão instaladas, elas precisam ficar apontadas à 9º ao norte para captar, de maneira eficiente, a irradiação solar, sendo necessário a utilização de trackers que propiciem a estruturação curvada no telhado da residência estudada, já que, este é plano. A figura 16 mostra uma foto do telhado da casa.

Figura 16 - Foto do telhado da casa

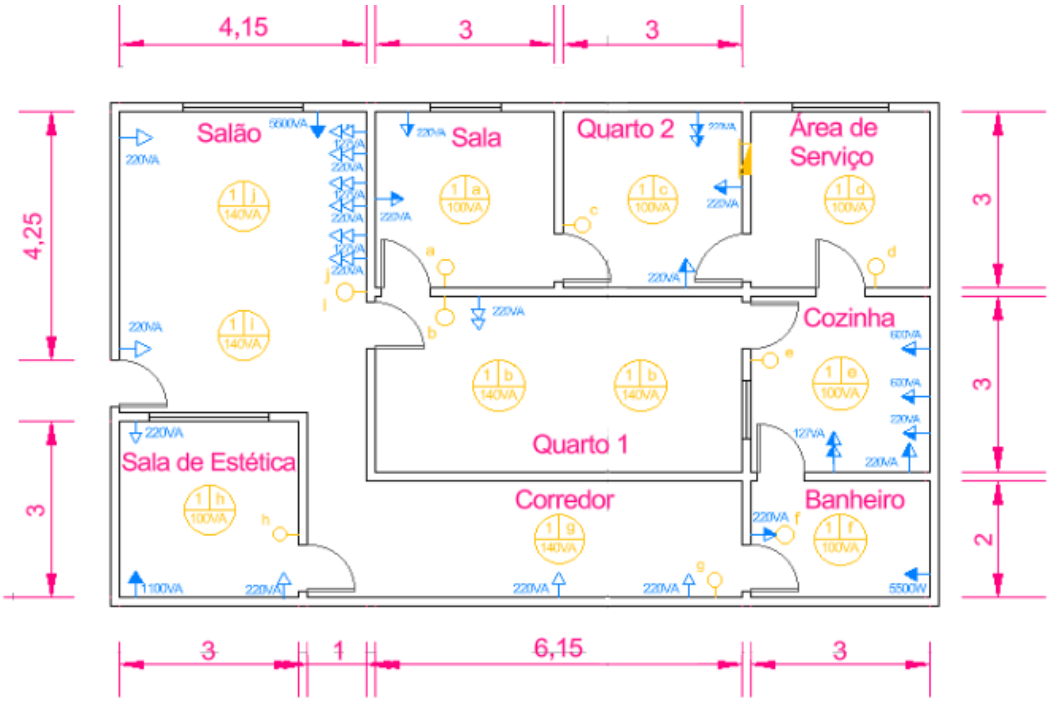
Fonte: Google Earth.

Como o telhado é plano, pode-se considerar que suas dimensões são

as mesmas que a edificação possui no que tange à largura e comprimento. A figura 17 mostra uma planta baixa da residência com seus respectivos cômodos: salão, sala de estética, corredor, banheiro, quarto 1, cozinha, sala, quarto 2 e área de serviço. Nela, pode-se verificar os pontos de luz, em amarelo, os pontos de tomada em azul e suas respectivas cotagens em rosa.

Obs.: A instalação é residencial, mas parte da residência é voltada para o atendimento ao público, funcionando como o salão de beleza, justificando a existência dos cômodos: Salão e sala de estética.

Figura 17 - Planta baixa da residência estudada

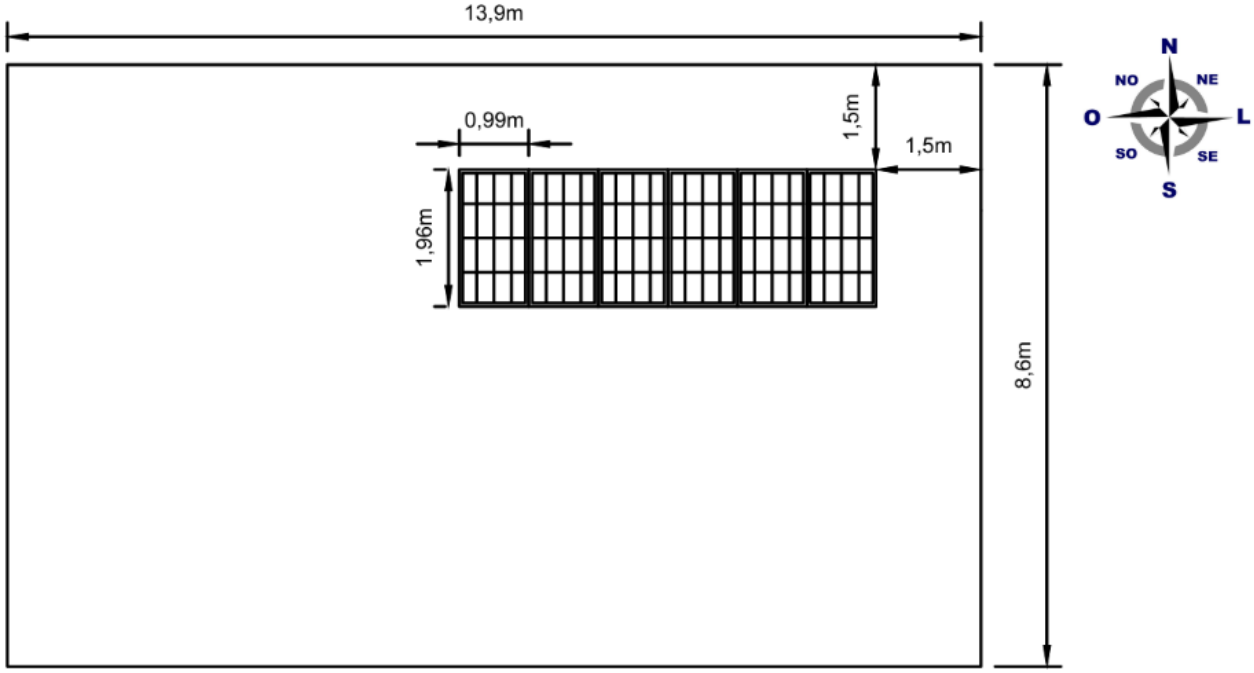


Fonte: (Autoria própria)

A figura 18 apresenta como as placas ficarão arranjadas no telhado da casa, de modo a obter maior captação da irradiação solar. De acordo com o Manual de Instalação da IBRAP, é necessário um recuo de 1,5m x 1,5m da margem do telhado até a instalação dos módulos e um afastamento entre placas igual a um centímetro, segundo o site da CanalSolar. É importante destacar que a residência selecionada para o projeto se sobressai sobre as demais, de modo que, independentemente do horário, não há a incidência de sombra nas placas por parte de outras construções. O espaçamento curto entre as placas permite uma fácil conexão entre elas, bem como dificulta a área de sombreamento sobre as placas. Os recuos curtos também levam

em consideração as possíveis sombras que podem se formar na placa, podendo dificultar a geração de energia.

Figura 18 - String da casa posicionada no telhado



Fonte: Autoria própria.

3.5.DISTRIBUIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS NA EDIFICAÇÃO

Em um sistema fotovoltaico on-grid faz-se necessário a utilização de inversores que convertem corrente contínua em corrente alternada, permitindo o paralelismo da geração com a rede quando se gera mais do que o requisitado. Como o circuito gerador irá abranger dois trechos, onde um deles (antes do inverso) terá corrente contínua e o outro (posterior é alternada, é preciso empregar dois quadros de natureza distintas com dispositivos de proteção específicos que protegem cada trecho, designados de quadro de proteção CC (QPCC) e quadro de proteção CA (QPCA).

O quadro de proteção CC escolhido foi da marca Strahl, modelo 3201/SB-M-1S, disponível em:https://loja.strahl.com/caixa-string-box-monofasica-2-strings-e-1-saida-strahl-3201sb-m-1s , seus parâmetros são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros do quadro de proteção CC

Tipo de alimentação	Monofásico
Tensão máxima de trabalho	600 Vcc ou 1000 Vcc
Corrente máxima	15 A
Altura	270mm
Comprimento	270mm
Largura	171mm

Fonte: Autoria própria.

A figura 19 é a foto do quadro de proteção CC selecionado a partir das especificações requeridas.

Figura 19- Foto do quadro de proteção CC

Fonte: Loja Strahl, 2024.

O quadro de proteção CA, por sua vez, tem que ter características

condizentes com a do inversor: **V saída= 220 Vca e ICA = 14 A.**

Levando isso em consideração, foi escolhido o quadro com as especificações detalhadas na tabela 5:

Tabela 5 - Características do quadro de proteção CA

Fabricante	Livoltek
Modelo	HXDB20-2P
Tensão nominal	220/ 127 V
Corrente nominal	20 A
Altura	308,3 mm
Comprimento	253,3 mm
Largura	112,5 mm

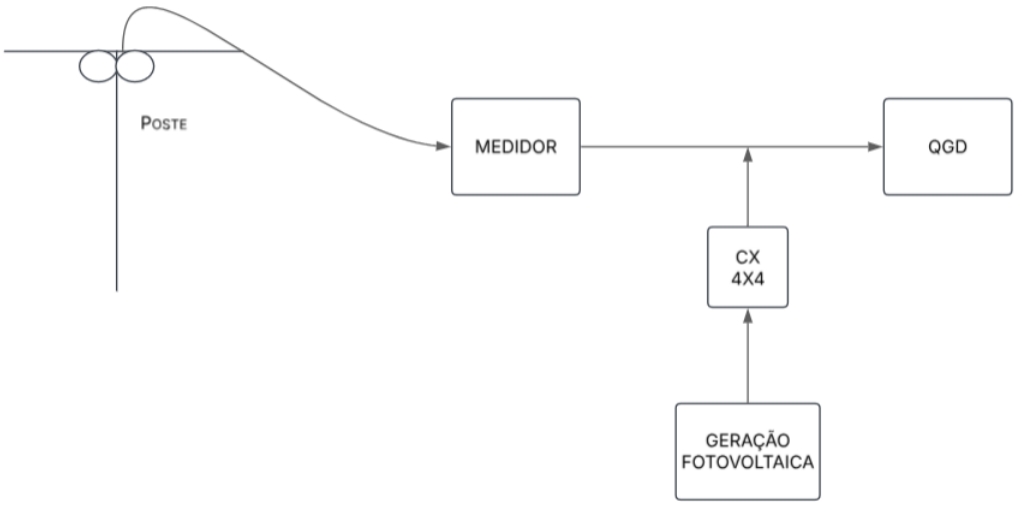
***** Dados disponíveis em: https://www.minhacasasolar.com.br/string-box-ca-20a-220-127v-mono-bifasica-livoltek-hxdb20-2p-82378 . A figura 20 é a foto do quadro de proteção CA a ser utilizado.

Figura 20- Foto do quadro de proteção CA

Fonte: Minha casa solar, 2024.

Para que se possa injetar na rede o que não for consumido, deve-se levar até o medidor, após sair do inversor, cabos que permitam o fluxo de energia das placas até o poste, como ilustra o esquema da imagem 21.

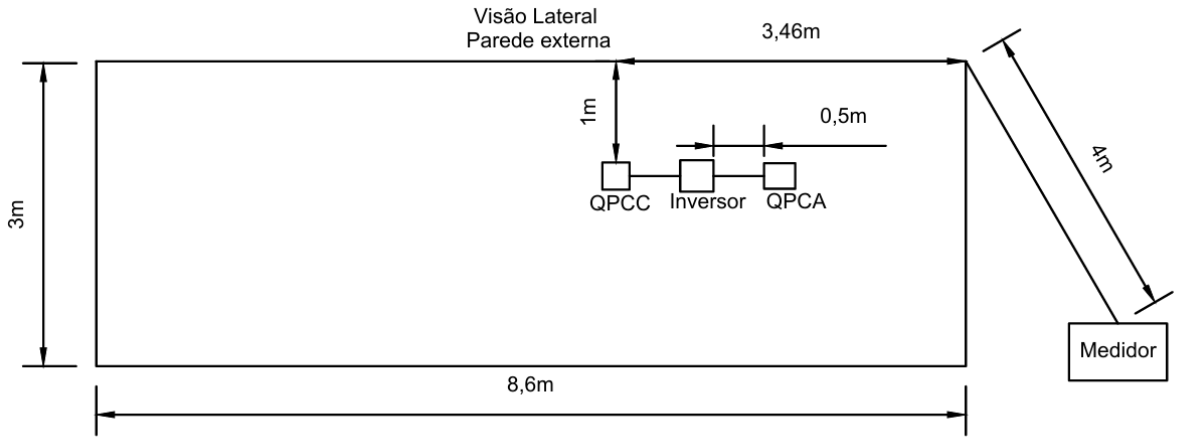
Figura 21 - Representação da conexão entre gerador e medidor



Fonte: Autoria própria.

Com a finalidade de se reduzir os custos com cabeamento o quadro de proteção CC, o quadro de proteção CA e o inversor serão posicionados o mais próximo possível do medidor. Como a casa não se encontra no térreo, o medidor fica em um nível inferior à ela com cerca de 4m de distância. Como o medidor fica à direita da edificação, convém que o quadro de proteção CA fique o mais próximo possível dele. Para que o quadro de proteção CC fique o mais próximo possível da última placa, é plausível recuar da largura da casa (parede direita) o valor correspondente ao recuo vertical superior da placa da margem do teto (1,5m) mais sua altura (1,96 m). Deste modo, o quadro de proteção CC estará a 3,46 m da margem direita da parede. Ele estará distanciado em 0,5 m do inversor e este, por sua vez, distanciado de 0,5 m do QPCA. Para diminuir a queda de tensão, descerá-se 1m de condutor do telhado para a parede. Por fim, a visão lateral da alocação dos equipamentos na parede externa da casa pode ser visualizada na figura 22.

Figura 22- Arranjo dos quadros de proteção e do inversor

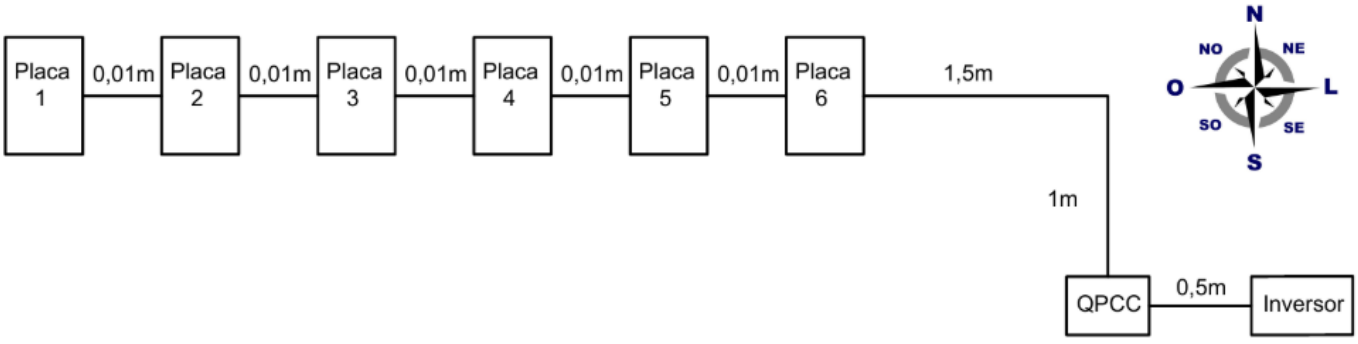


Fonte: Autoria própria.

3.6 DIMENSIONAMENTO DA BITOLA DO CIRCUITO CC

O circuito CC compreende todos os condutores que conectam as placas, os que vão para o QPCC e os que irão para a entrada do inversor, como mostra a figura 23.

Figura 23 - Representação do circuito CC



Fonte: Autoria própria.

Obs.: Os cabos que representam a conexão entre as placas já são disponibilizados pelo fabricante, contendo uma bitola de 4mm². Então, os cabos que conectam as placas não precisam ser calculados.

Deste modo, a distância total do circuito é igual a 3m (1,5 m + 1 m + 0,5 m).

Utilizando o método descrito por Villalva (2016) para calcular a bitola dos cabos de corrente contínua unipolar que serão instalados em eletrodutos aparentes não circulares do tipo canaleta, tem -se que:

- A bitola mínima a ser adotada é: 4mm²;

  Obs.: A NBR 5410 estabelece como seção mínima a de 2,5mm², mas como a bitola fornecida pelo fabricante para conexão das placas foi de 4mm², utilizará-se ela como mínimo a ser adotado.

- A bitola pelo critério da Ampacidade:

  Diferente do que é estabelecido pela NBR 5410, a corrente corrigida (IC) é obtida através da equação (7):

$$IC = ICS \times 1{,}25 \tag{7}$$

Onde:

*ICS = Corrente de curto-circuito da string.

Desta forma:

$$IC = 9{,}23\,A \times 1{,}25$$

$$IC \approx 11{,}54\,A$$

Cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical ∴

Método: B1.

Número de condutores carregados: 2 (positivo e negativo).

Isolação: PVC

S= 1mm²

- A bitola pelo critério da queda de tensão:

$$S\ (Seção) = \frac{2\ \times\ \rho Cu\ \times IC\ \times D}{3\ \%\ V\ CKT\ ABERTO\ DA\ STRING}\ mm^2 \quad (8)$$

Onde:

*ρCu = resistividade do cobre;

*D = distância do circuito

*V ckt aberto da string = tensão de circuito aberto da string.

Assim:

$$S\ (Seção) = \frac{2\ \times \left(\frac{1}{56}\right) \times 11{,}53\ \times 3}{0{,}03\ \times 278{,}4}\ mm^2$$

$$S\ (Seção) \approx \frac{1{,}24}{8{,}35}\ mm^2$$

$$S\ (Seção) \approx 0{,}149\ mm^2$$

Seção maior mais próxima = 0,5 mm²

Seção a ser adotada = 4mm² (critério mínimo);

Eletroduto não circular: Canaleta.

Em resumo, precisará-se de 3m de cabo unipolar de 4mm² e duas peças de 2m de canaleta.

3.7.DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO PARA O CIRCUITO CC

O circuito de corrente contínua necessita de proteção contra correntes de fuga para terra, sobre correntes ou correntes reversas, ou seja, faz-se necessário dimensionar DR (Dispositivo Diferencial Residual), uma chave de desconexão e fusíveis do tipo gPV, os quais se localizarão no quadro de proteção CC.

- Dimensionamento do DPS:
- Classe: 1, pois, neste caso, funcionará como medida de proteção contra descargas atmosféricas diretas, já que a instalação é exposta;
- Tensão nominal da string: 278,4V;
- Tensão máxima de operação: 600 Vcc;
- Corrente máxima de descarga: 40 kA, pois será inserido nos quadros de proteção de painéis fotovoltaicos em uma região periférica da zona urbana com poucos prédios, casas e apartamentos baixos sem para-raios.;
- Bipolar para Fase e neutro.

*Obs.: O fabricante usado como referência foi a Happy Fit.

- Dimensionamento fusíveis gPV:
- Fusível de proteção contra sobrecorrentes e correntes reversas;
- Dimensionamento:

Seguindo a equação 16 proposta por Marcelo Gradella Villalva…

$$ICC \leq INF \leq IR \tag{9}$$

* INF = Corrente nominal do fusível;
* ICC = Corrente de curto-circuito da string;
* IR = Corrente reversa máxima que a placa suporta dada pelo fabricante.

Obs.: Como o fabricante não disponibilizou o valor de IR que a placa escolhida suporta, adotará-se o menor valor mais comum em placas solares, considerando uma com valores mais ou menos próximos de potência máxima, tensão de curto, tensão máxima, corrente máxima e corrente de curto - circuito da que foi

escolhida, como o modelo P6D-36 - SERIES - 4BB da BYD disponível em: https://canalsolar.com.br/corrente-reversa-fotovoltaico/ , na qual apresenta um valor limite de corrente reversa igual a 15 A.
Isso implica em:

$$9{,}23\ A \leq\ INF\ \leq\ 15\ A\ \therefore INF = 15\ A$$

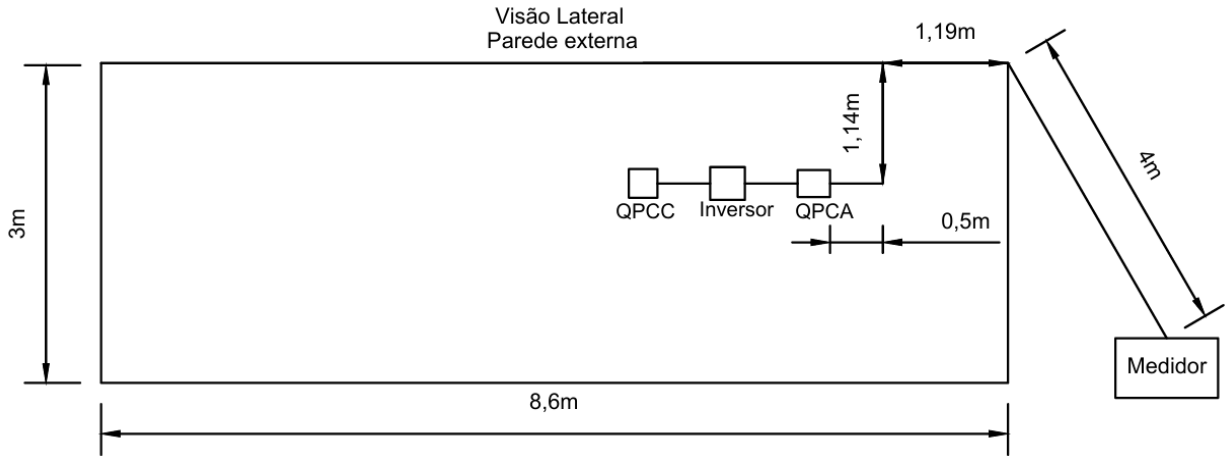
- Chave de desconexão CC:
- Tensão nominal (Ue) = 600 Vcc;
- Corrente nominal = 16 A;
- Número de polos= 2 para positivo e negativo.

Obs.: O fabricante que serviu como base para o dimensionamento desta chave foi a ABB através do modelo OTDC16F2 disponível em: https://library.e.abb.com/public/0ef80f68cc114fde92ba40bb735bcaf6/Catalogo%20interativo_chaves%20seccionadoras.pdf .

3.8.DIMENSIONAMENTO DA BITOLA DO CIRCUITO CA

O circuito CA vai da saída do inversor até o medidor ou em um ponto antes do disjuntor geral que conecta o medidor à placa. Então, considerando o arranjo dos equipamentos na parede direita da casa, pode-se simplificar o circuito CA através da figura 24.

Figura 24 - Representação do circuito CA



Fonte: Autoria própria.

Deste modo, a distância total do circuito é igual a 7,83 (0,5 x 2 m + 1,14 m + 1,19 m + 4 m).

Calculando a bitola desses circuitos, tem-se:

- Cálculo de bitola para o circuito 1:

- Bitola mínima: **2,5mm²**;

- Bitola pelo critério da ampacidade:

$$IC\ (Corrente\ corrigifda) = \frac{IB\ (Corrente\ de\ projeto)}{F1\ \times F2\ \times F3} \quad (10)$$

F1 - Fator de correção por temperatura (Temperatura ≠ 30ºC);
F2 - Fator de correção linhas subterrâneas;
F3 - Fator de correção por agrupamento.

Os condutores não são subterrâneos;
Não se encontram agrupados;
Considerando que a temperatura média de Salvador, ao longo do ano, é de 30ºC, nenhum fator de correção por temperatura é aplicado.
Então…
IC = IB = 14 A
Obs.: Foi utilizado a corrente máxima de saída do inversor a fim de não subdimensionar a bitola do cabo.

Cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical ∴

Método: B1.
Número de condutores carregados: 2 (positivo e negativo).

Isolação: PVC
S= 1 mm²

- Bitola pelo critério da queda de tensão:

$$S = \frac{2 \times \rho Cu \times IB \times D}{3\,\% \times V\ 1\varphi\ local}\ mm^2 \quad (9)$$

Onde:

*V1φ local = Tensão de monofásico local.

$$S\ (Seção) = \frac{2 \times \left(\frac{1}{56}\right) \times 14 \times 7{,}83}{0{,}03 \times 22}\ mm^2$$

$$S\ (Seção) \approx \frac{3{,}92}{6{,}60}\ mm^2$$

$$S\ (Seção) \approx 0{,}59\ m^2$$

Seção maior mais próxima = 0,75 mm²

Seção adotada = 2,5 mm²

Eletroduto não circular: canaleta.

Em resumo serão necessários 8m de cabo unipolar de 2,5 mm² e 4 peças de 2m de canaleta.

3.9. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO PARA O CIRCUITO CA

O circuito de corrente alternada, que sai do gerador, necessita de proteção contra surtos, correntes de fuga para terra, sobrecarga e curto-circuito, ou seja, faz-se necessários dimensionar DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos), DR (Dispositivo Diferencial Residual) e Disjuntor, os quais se localizarão no quadro de proteção CC.

- Dimensionamento do disjuntor:

- Tipo do disjuntor: Termomagnético tipo DIN;
- Número de polos: monopolar (circuito monofásico);
- Curva de atuação: curva C (cargas com comportamento indutivo. FP < 1);
- Corrente nominal: $I_B \leq I_N \leq I_Z \therefore 14 \leq I_N \leq 24 \therefore I_N = 16$ A.

- Dimensionamento do DPS:

- Classe: 1, pois, neste caso, funcionará como medida de proteção contra descargas atmosféricas diretas, já que a instalação é exposta;
- Tensão nominal da rede monofásica: 220V;
- Tensão máxima de operação: 275V;
- Corrente máxima de descarga: 40 kA, pois será inserido nos quadros de proteção de painéis fotovoltaicos em uma região periférica da zona urbana com poucos prédios, casas e apartamentos baixos sem para-raios;
- Bipolar para a fase e neutro.

- Dimensionamento do DR:

- Número de polos: Bipolar (Fase + Neutro);
- Corrente de sensibilidade ($I\Delta N$) = 30mA;
- Tipo: AC;
- Seletividade: característica S (a montante da fonte);
- Corrente nominal: I_N DR $\geq$ I_N do disjuntor $\therefore I_N \geq 16$ A $\therefore I_N = 25$ A.

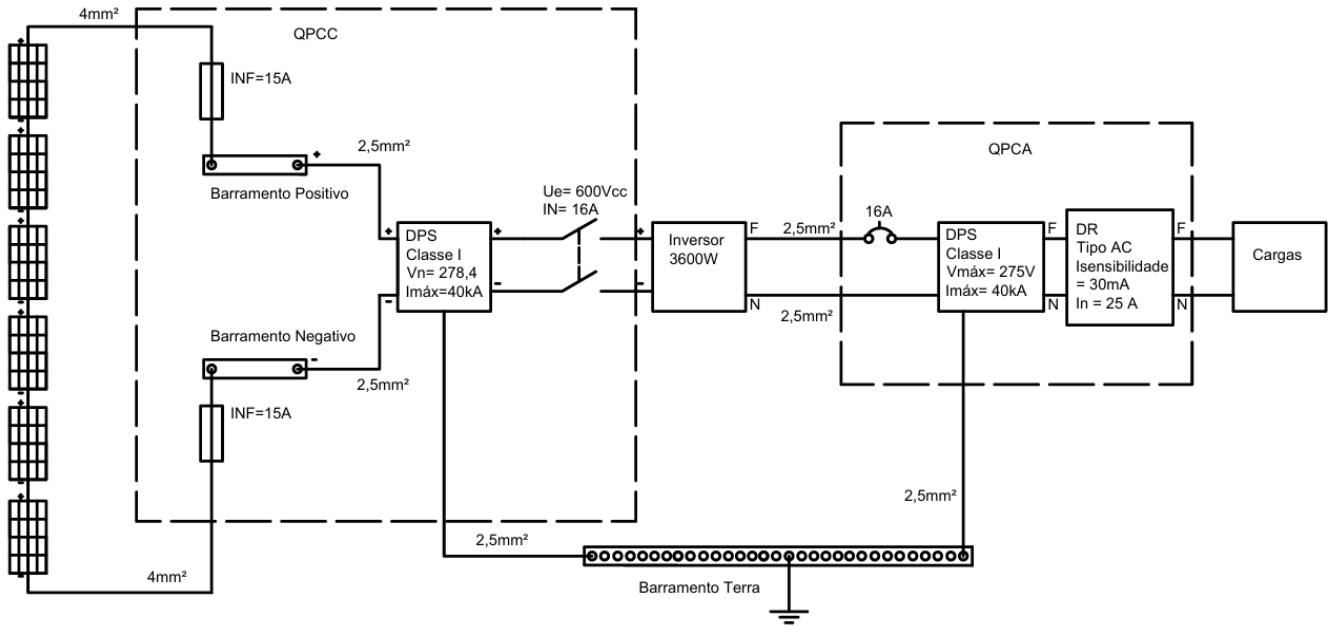
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste tópico, será discutido o diagrama multifilar da geração, bem como o custo inicial para implantação do sistema, através de uma lista de materiais e seus respectivos preços por meio da tabela 6, e a manutenção do sistema.

- Diagrama multifilar da geração:

Para facilitar a manutenção do sistema, é necessário a elaboração de um diagrama multifilar da geração para que se possa localizar todos os dispositivos, condutores e equipamentos em caso de falha. A figura 25 apresenta o diagrama multifilar da geração dimensionada.

Figura 25- Diagrama multifilar da geração



Fonte: Autoria própria.

Este diagrama envolve desde as placas solares até as cargas que poderão ser ligadas ao circuito, passando pelo quadro de proteção CC e seus respectivos dispositivos de proteção: fusíveis gPV, dispositivo de proteção residual (DR) e chave de desconexão. Em seguida, chegando ao inversor CC CA, os cabos deixam de ser “positivos-negativos” para serem “fase-neutro”, passando então pelo quadro de proteção CA, com seus respectivos dispositivos de proteção até serem levados para as cargas. Além disso, o Barramento de Terra deve ser conectado ao eletrodo de aterramento da edificação.

- Lista de materiais:

Tabela 6 - Relação Materias x Custos

Materiais	Quantidade	Preço total (R$)
Módulos fotovoltaicos, 330W, Vmáx = 37,8V, Vcircuito aberto= 46,4 V, Icurto = 9,23 A, Imáx = 8,74A.	6	3731,40
QPCC utilizado	1	920,49
QPCA utilizado	1	220,00
Inversor CC - CA	1	3658,60
DPS CA, VF = 275 V, Imáx = 40kA, Classe I.	1	235,13
Fusível gPV, IN= 15A	2	19,18
Caixa de Passagem 4x4”	1	11,95
Conectores	2	4,60
Disjuntor, IN= 16A, curva C, tipo Din, monopolar	1	11,29
DR, 25A, tipo AC, I□N = 30mA, Bipolar	1	169,96
DPS CC, VF= 600Vcc, Imáx=40kA, Classe I.	1	230,89
Cabo unipolar 2,5 mm²	10m	41,90
Cabo unipolar 4mm²	3m	15,00
Canaleta	4 peças de 2m	44,35
Conector de placa solar 2mm² (conjunto macho e fêmea)	7	90,3
Chave de desconexão CC	1	255,59
Medidor bidirecional monofásico	1	274,35
Mão de obra do Projetista	1	4.000,00
Mão de obra do Eletricista	4	3.200,00
Total	…	17.134,98

Fonte: Autoria própria.

O orçamento de custo para instalação de um sistema solar fotovoltaico, em média, segundo a simulação da calculadora solar disponibilizada pela empresa WEG, tendo como base o valor da conta mensal da energia elétrica, disponível em: https://www.weg.net/solar/br/calculadora/ , é apresentado na figura 26.

Figura 26- Cálculo solar

Fonte: WEG, 2024

Deste modo, constata-se que o cálculo feito está dentro da média e que, com tal instalação, será necessário mais ou menos 6 anos de geração própria para que se tivesse um retorno financeiro do que foi gasto para instalar o sistema.

- Manutenção das placas

O tempo médio de vida útil de uma placa solar é de 25 anos, segundo a empresa WEG. Mas, para que os painéis da instalação tenham pleno funcionamento durante o seu período de vida útil é necessário estabelecer um plano de manutenção, sobretudo preventiva, para que os geradores possam operar de forma mais eficiente possível.

É importante realizar, como dito no portal solar, a limpeza das placas a cada 3 meses, já que o local em que serão instaladas é imersa num grande percentual de poluição, utilizando água corrente, não submetidas a altas pressões (jatos de água) com materiais não abrasivos, como vassouras de cerdas macias, sem produtos químicos de limpeza. Essa limpeza não pode ser feita a qualquer momento, ela deve ser realizada durante o período da manhã ou no final da tarde, quando não está com a temperatura tão elevada. Além disso, é importante avaliar visualmente o comportamento dos equipamentos ou desarme de algum dispositivo de proteção a fim de se averiguar a necessidade de repor algum destes por outros pelo eletricista responsável pelo projeto. Por fim, na finalidade de evitar acidentes e falhas decorrentes de choques elétricos, é necessário que seja colocado no medidor respectivo da residência, uma placa ou aviso, de forma a promover a indicação de que há geração própria de energia na casa.

5. CONCLUSÃO

A implantação desse sistema cria empregos e movimenta a economia nacional, diversifica a geração de energia elétrica e fornece autonomia ao consumidor.

O estudo mostrou ser viável para utilização de geração fotovoltaica à demanda elétrica da residência adotada, uma vez que será capaz de compensar o gasto inicial em menos da metade da vida útil da placa, já que, os seis anos de *payback* representam apenas 24% da duração do sistema. Além de que, posteriormente, após o valor de investimento inicial ter sido recuperado, o sistema passará a gerar economia na conta de energia elétrica ao consumidor.

No projeto, para garantir a segurança do sistema e de seus utilizadores, foram utilizados: DPS, DR, chave de desconexão, fusível gPV e disjuntor, alocados nos quadros de proteção para corrente contínua e corrente alternada de acordo com recomendações normativas e referências bibliográficas.

Enfim, constata-se que há viabilidade da implantação do sistema na residência proposta. No entanto, para que esse projeto seja implementado, será imprescindível incentivos públicos ou privados que possam auxiliar na redução de tributação, tendo em vista que o projeto visa atender uma residência popular. Os incentivos podem ser no financiamento desse tipo de geração, a juros menores, dessa forma popularizado a adoção desses sistemas em residências populares.

Outro ponto importante é que seja fornecido um devido treinamento básico para que a população possa realizar a manutenção desse sistema, como a limpeza dos painéis, reduzindo desta forma, custo com a manutenção ao longo do funcionamento do sistema.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. IEC 62109. Segurança de Conversores de Energia para Uso em Sistemas de Energia Fotovoltaica - Parte 1: Requisitos Gerais. 2010.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16690. Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos — Requisitos de Projeto. Rio de Janeiro. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410. Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro. 2008.

BOYLESTAD, Robert. NASHELSKY, Louis. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 11ª Edição. SÃO PAULO. 2013.

Canal Solar | Notícias e artigos sobre energia solar. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2025.

DIS-NOR-030. Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição a Edificações Individuais. 2023.

DIS-NOR-031. Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição. 2022.

Inversor Solar On Grid Mg 3 Ktl 3kw Inmetro Para Rede Mono 127v. Disponível em: < https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1723153532-inversor-solar-ongrid-mg3ktl-3kw-inmetro-para-rede-mono-127v-_JM?searchVariation=177154094789#polycard_client=search-nordic&searchVariation=177154094789&position=14&search_layout=grid&type=item&tracking_id=54ea6614-6627-4823-a96a-58cb0d9c0670 >. Acesso em: 25 de janeiro de 2025.

LAUTERT, Renata.; VITORIANO, D. ESTIMATIVA DA TAXA DE DESEMPENHO A

MALVINO, Albert. BATES, David. Eletrônica Vol 1. 8ª edição. PORTO ALEGRE. Clic Editoração Eletrônica Ltda. 2016.

PARTIR DA POTÊNCIA DE SAÍDA PARA UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CURITIBA. Curitiba. 2020. Pg 3.

PINHO, João. GALDINO, Marco. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. RIO DE JANEIRO. CEPEL – CRESESB. 2014.

PINTO FILHO, Tito. MEDIDOR ELETRÔNICO DE ENERGIA ELÉTRICA BIDIRECIONAL NÃO INVASIVO. FORTALEZA. 2019.

RASHID, Muhammad. ELETRÔNICA DE POTÊNCIA - Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª edição. SÃO PAULO. Pearson Education do Brasil Ltda. 2014.

TELHADOS FOTOVOLTAICO. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ibrap.com.br/arquivos/catalogos/IBRAP-Fotovoltaico---Manual-de-Instala-o-1979965996.pdf>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2025.

VILLALVA, Marcelo. Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações. 2º edição. SÃO PAULO. Saraiva Educação. 2015.