



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DA
BAHIA - *CAMPUS SALVADOR*
CURSO TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA

IGOR SANTOS DE JESUS
POLIANA SANTANA ARAÚJO CUNHA

Tema: Estudo de viabilidade técnica do uso de energia fotovoltaica para consumidores de
baixa renda na região metropolitana de Salvador.

SALVADOR

2024



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DA
BAHIA - *CAMPUS SALVADOR*
CURSO TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA

IGOR SANTOS DE JESUS
POLIANA SANTANA ARAÚJO CUNHA

Tema: A viabilidade do uso de energia fotovoltaica para consumidores de baixa renda na região metropolitana de Salvador.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do curso de Eletrotécnica do Instituto Federal da Bahia, Campus Salvador, para aproveitamento do requisito Estágio Supervisionado.

Orientador: Prof. Dr. Renato da Anunciação Filho

SALVADOR

2024

J58e Jesus, Igor Santos de

Estudo de viabilidade técnica do uso de energia
fotovoltaica para consumidores de baixa renda na
região metropolitana de Salvador / Igor Santos de
Jesus; Poliana Santana Araújo; orientador Renato
Anuniação Filho -- Salvador, 2024.

92 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico de
Ensino Médio em Eletrotécnica) -- Instituto Federal
da Bahia, 2024.

1. Energia fotovoltaica. 2. Pannel solar. 3.
Consumidores. I. Araújo, Poliana Santana, colab. II.
Anuniação Filho, Renato, orient. III. TÍTULO.

CDU 551.521.37

IGOR SANTOS DE JESUS
POLIANA SANTANA ARAÚJO CUNHA

A viabilidade do uso de energia fotovoltaica para consumidores de baixa renda na região metropolitana de Salvador.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal da Bahia como requisito parcial de conclusão do curso Técnico Integrado de Eletrotécnica. [processo SEI IFBA :23442.001225/2024-65](#)

Banca Examinadora

Prof. Dr. Renato da Anunciação (orientador)

Avaliador 1- Profa. Dra. Elenise B. Barbosa Anunciação

Avaliador 2- Prof. Dr. Milton Elves Zevalhos Alcahuaman

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer a Deus por nos guiar durante todo curso, às nossas famílias por sempre estarem presentes. Queremos agradecer ao nosso orientador Prof. Dr. Renato da Anunciação Filho, pela orientação para execução do trabalho de conclusão. Agradecemos aos nossos professores que formam a banca de avaliadores, Profa. Dra. Elenise B. Barbosa Anunciação e o Prof. Dr. Milton Elves Zevalhos Alcahuaman pela dedicação na educação e formação de jovens, ao IFMAKER Salvador por ceder o espaço e materiais para construção do projeto representativo.

RESUMO

No Brasil é muito discutida a forma na qual é gerada a energia elétrica, sendo que atualmente no Brasil sua maior parte da geração é dada pelas hidrelétricas. Entretanto, além dessa ser uma geração cara é também muito maléfica ao meio ambiente, portanto a energia fotovoltaica tem se tornado o meio mais viável para obter energia elétrica limpa. Esse estudo tem o propósito de analisar a implementação da energia fotovoltaica para consumidores de baixa renda, mais especialmente, os consumidores de baixa renda da região metropolitana de Salvador. O estudo conta com análise e fundamentação sobre as tecnologias utilizadas para geração dessa energia, além de dados sobre os consumidores em questão.

Palavras- chave: energia fotovoltaica; painel solar; consumidores de energia elétrica de baixa renda; eficiência energética.

ABSTRACT

In Brazil, the way in which electrical energy is generated is much discussed, and currently in Brazil the majority of generation is provided by hydroelectric plants. However, in addition to being an expensive generation, it is also very harmful to the environment, therefore photovoltaic energy has become the most viable means of obtaining clean electrical energy. This study aims to analyze the implementation of photovoltaic energy for low-income consumers, more especially, low-income consumers in the metropolitan region of Salvador. The study includes analysis and reasoning on the technologies used to generate this energy, as well as data on the consumers in question.

Keywords: photovoltaic energy, solar panel, consumers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E IMAGENS

Figura 1 Avanços da eficiência das células fotovoltaicas.....	22
Figura 2 - Estrutura da banda de energia de condutores, semicondutores e isolantes.....	23
Figura 4 - Ilustrações da junção pn.....	25
Figura 5 - Elementos presentes em uma placa solar.....	26
Figura 6 - imagens de um Painel Solar Monocristalino 650W Halfcell Bifacial Canadian.	27
Figura 7 - Placa Solar Policristalina 340w policristalino 72 Células Thebe/ebar.....	27
Figura 8 - painel Solar Flexível 160w Monocristalino Fotovoltaico CNSDPV.....	28
Figura 9 - Esquema de ligação de uma String Box.....	30
Figura 10 - Conector MC4, macho e fêmea.....	33
Figura 11 - Diagrama do inversor de frequência.....	34
Figura 12 - Inversor String.....	36
Figura 13 - Inversor Solar Off Grid Epever 60H.....	37
Figura 14 - Inversor Híbrido.....	38
Figura 15 - Microinversor usado para a conexão de um módulo fotovoltaico individual.....	38
Figura 16 - Matriz elétrica do Brasil.....	42
Figura 17- Aquecedor Solar a Vácuo 300 Litros UNISOL 30 Tubos Aço Inox 316.....	48
Figura 19 – Maquete do sistema fotovoltaico.....	56
Figura 20 - imagem de satélite da rua henrique marques.....	57
Figura 21 - Representação da circulação de corrente nos módulos.....	73
Figura 22- Tarifa de energia.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhamento histórico.....	17
Tabela 2 – dimensionamento de condutores, eletroduto, disjuntores e DRS	45
Tabela 3 - A tarifa social energética. Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.....	46
Tabela 4 - Previsão de Carga.....	52
Tabela 5 - Divisão de Circuitos	53
Tabela 6 - Ramal de entrada.....	54
Tabela 7- potência consumida	54
Tabela 8- Dados da usina fotovoltaica.	56
Tabela 9 – Dimensionamento da usina fotovoltaica.....	57
Tabela 10 - Faturamento mensal no período de 12 meses.....	58
Tabela 11 - Dados da placa solar da usina fotovoltaica para consumidores B1:.....	59
Tabela 12 - Dimensionamento o inversor de frequência.....	61
Tabela 13- Dimensionamento do inversor de frequência.....	61
Tabela 14- Dados para o dimensionamento dos cabos CC.	62
Tabela 15- Dados para o dimensionamento dos cabos CA.	63
tabela 16- Fórmulas utilizadas para o dimensionamento dos cabos.	64
Tabela 17- ESCOLHA DOS CABOS.	64
Tabela 18- DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES	65
Tabela 19- DIMENSIONAMENTO DO DPS.	67
Tabela 20 - A tarifa social energética. Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa	69
tabela 21- levantamento de custo para o investimento (consumo de até 30kwh).....	70
Tabela 22- LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA O INVESTIMENTO (Consumo de até 220 KWh)	71

LISTA DE ABREVIATURAS

MWp – Megawatt pico (unidade de potência elétrica, usada para indicar a capacidade máxima de geração de energia)

CO₂ – Dióxido de carbono

m-Si – Silício monocristalino

p-Si – Silício policristalino

a-Si – Silício

CIGS – Dissenelto de cobre, índio e gálio

CdTe – Telureto de cádmio

e-Si – Silício experimental

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

CPV – Concentrated Photovoltaics

DSSC – Dye-Sensitized Solar Cell

OPV – Organic Photovoltaics

KW – Quilowatt

Si-Cz – Silício Czochralski

SIGFIs – Sistema Individual de Geração de Energia com Fontes Intermitentes

IME – Instituto Militar de Engenharia

LpT – Luz para Todos

UCP – Unidade de Condicionamento de Potência

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

PWM – Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)

IHM – Interface Homem/Máquina

CPU – Unidade Central de Processamento

Hz – Hertz (unidade de frequência)

V – Volts (unidade de tensão)

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DPS – Dispositivo de Proteção contra Surto

SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

IB – Corrente de Projeto do Circuito

I_z – Capacidade de Condução de Corrente dos Condutores

I_n – Corrente Nominal do Dispositivo de Proteção

TN – Tipo de Esquema de Aterramento (para sistemas fotovoltaicos)

TN-C – Esquema de Aterramento com Neutro Combinado ao Condutor de Proteção

TN-S – Esquema de Aterramento com Condutor de Proteção Independente do Neutro

TN-C-S – Esquema de Aterramento com Neutro e Condutor de Proteção Combinados em um Único Condutor

OMS – Organização Mundial da Saúde

CDE – Conta de Desenvolvimento Energético

Wh – Watt-hora

Wp – Watt pico

GWp – Gigawatt pico

kWh – Quilowatt-hora

A – Ampère (unidade de corrente elétrica)

TUE – Tomada de Uso Específico

TUG – Tomada de Uso Geral

Proinfra – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

CadÚnico – Cadastro Único

ICC – Corrente de Curto-Circuito

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS E OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS.....	16
2.2 BREVE HISTÓRICO.....	17
2.3 HISTÓRIA NO BRASIL.....	19
2.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	20
2.5. TIPOS DE PLACAS SOLARES.....	23
2.6 EQUIPAMENTOS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	27
2.6.1 Dispositivo De Seccionamento CC E CA.....	28
2.6.2 Disjuntores Cc (Corrente Contínua) E Ca (Corrente Alternada).....	29
2.6.3 Dispositivo De Proteção Residual.....	29
2.6.4 Bornes De Conexão De Sistemas Fotovoltaicos.....	30
2.6.5 Inversor De Frequência.....	30
2.7 TIPOS DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA.....	32
2.7.1. Inversor Solar Grid-Tie (Inversor Solar On Grid).....	32
2.7.2 Inversor Solar String (String Inverter).....	33
2.7.3 Inversor Solar Off Grid.....	33
2.7.4 Inversor Solar Central.....	34
2.7.5 Inversor Solar Híbrido.....	34
2.7.6 Micro inversor solar.....	35
2.8 APLICAÇÕES E VANTAGENS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	36
2.9 A RELEVÂNCIA DA ENERGIA SOLAR NO CONTEXTO ATUAL: SUSTENTABILIDADE E DESAFIOS PARA O SETOR ENERGÉTICO.....	38
3.0 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	40
3.1 PESQUISA TEÓRICA.....	41
3.2 PESQUISA TEÓRICA DOS DISPOSITIVOS PRESENTES NO PROJETO FOTOVOLTAICO.....	41
3.2.1 Dispositivos De Proteção e Outros.....	41
3.2.1.1 Dimensionamento dos disjuntores.....	42

3.2.1.2 Dimensionamento do DR (diferencial residual).....	42
3.2.1.5 Aterramento dos sistemas fotovoltaicos.....	42
3.2.1.6 Dimensionamento do inversor de frequência.....	43
3.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO.....	44
3.3.1 Dimensionamento Do Boiler.....	45
3.3.2 Estudo Econômico Sobre A Implantação Do Sistema De Aquecimento Por Boiler....	46
3.4 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES E OUTROS.....	46
4.0 CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES.....	47
4.1 CARACTERÍSTICAS DOS CONSUMIDORES DE BAIXA RENDA.....	48
4.2 PROJETO PADRÃO DE RESIDÊNCIAS CONSUMIDOR CLASSE B1.....	49
4.3 PROJETO ARQUITETÔNICO.....	53
4.4 PROJETO ELÉTRICO.....	54
4.5 PROJETO FOTOVOLTAICO PARA CONSUMIDORES B1.....	57
4.5.1 Elaboração Teórica.....	57
4.5.2 Dimensionamento Da Usina Fotovoltaica.....	58
4.5.2.1 Dimensionamento do inversor.....	62
4.5.2.2. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO, MANOBRA E CABOS (CA E CC).....	64
4.5.2.2.1 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CC E CA.....	64
4.5.2.2.2 DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES CA E DC.....	67
4.5.2.2.3 DIMENSIONAMENTOS DO FUSÍVEL.....	68
4.5.2.2.4 DIMENSIONAMENTOS DOS DPS (DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS)....	69
4.5.2.3 Aterramento.....	70
5.0 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	71
6.0 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O FORNECIMENTO DE USINAS FOTOVOLTAICAS PARA OS CONSUMIDORES DE CLASSE B1.....	76
6.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	78
7.0 CONCLUSÃO.....	80
ANEXO I – Cálculos do dimensionamento dos condutores da planta.....	83
ANEXO II – Cálculos do dimensionamento da usina fotovoltaica.....	86

1. INTRODUÇÃO

A busca por energia limpa e sustentável tem se intensificado na atualidade, desta forma a energia fotovoltaica se torna cada vez mais viável, especialmente em regiões com alto índice de incidência solar, como as zonas de desertos, as regiões perto da linha do equador, no Brasil destacamos o nordeste brasileiro com altos índices solarimétricos. Paralelamente, a energia elétrica, proveniente de fontes hidrelétricas, tem seu custo monetário e sustentável cada vez mais alto principalmente no que diz respeito às alterações climáticas que tem imposto, grandes períodos de secas pressionando as tarifas da energia elétrica no Brasil a grandes variações. Impactando nos orçamentos das famílias Brasileiras com ênfase nas famílias de baixa renda ao ponto desse grupo de pessoas não serem capazes de arcar com esses custos. Na busca de uma possível solução para esses problemas sociais o governo tem encaminhado políticas públicas de subsídios da energia elétrica para essa faixa de consumidores, no entanto essa solução é apenas paliativa, pois limita o consumo a algumas dezenas de quiloWatts hora (Kwh). Esse trabalho de Conclusão de Curso, parte da hipótese que a substituição de parte da energia elétrica consumida pela classe social B1, que tem subsídios de parte do seu consumo de energia poderia ser gerada por fonte fotovoltaica, substituindo os subsídios do governo por implantação de pequenas gerações e assim eliminando a médio e longo prazo os subsídios.

O estudo se baseia na possibilidade de instalação da usina fotovoltaica para consumidores de baixa renda a fim de que possam ter energia de qualidade sem um custo elevado e liberando o governo da perpetuação de um gasto que poderia ser destinado a outras ações.

O estudo é feito a partir da análise das tecnologias utilizadas para instalação da usina fotovoltaica, e sua viabilidade econômica e técnica. Além disso, foram realizados os projetos elétricos fundamentado nas normas técnicas vigentes, a exemplo da NBR 5410 dentre outras, além do dimensionamento da usina fotovoltaica, e todos os seus dispositivos.

Fundamentados nos resultados obtidos a partir desse estudo, do trabalho final de curso, teórico e prático pretendemos apresentar uma solução técnica e financeiramente viável para a interconexão entre os assistentes virtuais existentes hoje no mercado e a interconexão com os diversos dispositivos de automação residencial, apresentando soluções com o menor número de

intervenção arquitetônica e maior grau de automação buscando sempre a eficiência energética e seu uso racional, traduzindo em economia de energia elétrica.

1.1 PROBLEMA ESPECÍFICO

Estudo técnico para identificar a viabilidade de uma usina fotovoltaica, para fornecimento de energia elétrica a consumidores de baixa renda, de forma que seja economicamente e tecnicamente viável o financiamento público

1.2 OBJETIVO GERAL:

Desenvolver um projeto tecnicamente e financeiramente viável para o financiamento público para a instalação de usinas fotovoltaicas em residências de consumidores de energia elétrica de baixa renda.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1.3.1 - Avaliar teoricamente o custo de implantação de uma usina fotovoltaica em eficiência e custo benefício

1.3.2- Estudar sobre as tecnologias utilizadas para a geração de energia elétrica a partir de geradores fotovoltaicos.

1.3.3 - Levantar dados sobre os consumidores de baixa renda (tipo de moradia; padrão de uso da energia; consumo médio de energia elétrica; número de consumidores no estado; número de consumidores na região metropolitana de Salvador; outros).

1.3.4 - Determinar a partir dos estudos realizados quais as tecnologias de geração fotovoltaicas são as mais viáveis tecnologicamente e financeiramente, mais econômica, ajustável a instalações elétricas prontas de consumidores de baixa renda.

1.3.5 - Elaborar projeto da usina a partir de instalações elétricas já existentes utilizando as tecnologias selecionadas.

1.3.6- Elaborar estudo teórico final avaliando a partir dos dados encontrados relatório de viabilidade técnica do financiamento e implantação ou não das usinas fotovoltaicas a consumidores de baixa renda.

1.3.7- Elaborar Trabalho final do TCC para apresentação

2.0 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS E OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS

O marco para o desenvolvimento da energia fotovoltaica, tem como fundo temporal os avanços da humanidade que estão respaldados sob os setores de telecomunicação. A busca de fontes de energia remota impulsionada pela corrida espacial, que necessitava de fontes energéticas baratas e seguras para abastecerem os equipamentos eletroeletrônicos no espaço, favoreceram o desenvolvimento tecnológico das células fotovoltaicas. A crise do petróleo de 1973, instigou a produção e o emprego da técnica fotovoltaica no globo terrestre e posteriormente, em 1978, a indústria fotovoltaica ultrapassava 1MWp /ano⁵, assim na década de 1990 os Estados Unidos se tornaram líder mundial na produção dessa tecnologia, bem como o Japão e a Alemanha, que estavam compromissados em diminuir a emissão de CO₂. Com avanços na eficiência das células, tendo em vista que a primeira célula foi a de sulfeto de tálio e a mesma possuía uma eficiência de 1%, nos anos de 1998 uma célula monocristalina possuía uma eficiência de 24,7%. Assim o método de dopagem dos materiais semicondutores se ramificou lentamente pelo mundo e em 1998 alcançou 150MW, por volta de 2006 a China ultrapassou demais produtores alcançando a liderança na fabricação de métodos.

"As principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações. A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado, por ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível. A segunda geração, comercialmente denominada de filmes finos, é dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Esta geração apresenta menor eficiência do que a primeira e tem uma modesta participação do mercado, competindo com a tecnologia e-Si¹. Existem dificuldades associadas à disponibilidade dos materiais, vida útil, rendimento das células e, no caso do cádmio, sua toxicidade, que retardam a sua utilização em maior escala. A terceira geração, ainda em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), testes e produção em pequena escala, é dividida em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula

fotovoltaica para concentração (CPV-Concentrated Photovoltaics), células sensibilizadas por corante (DSSC Dye-Sensitized Solar Cell) e células orgânicas ou poliméricas (OPV Organic Photovoltaics). A tecnologia CPV, por exemplo, demonstrou ter um potencial para produção de módulos com altas eficiências, embora o seu custo ainda não seja competitivo com as tecnologias que atualmente dominam o mercado.” (PINHO et al., 2014, p.50)

2.2 BREVE HISTÓRICO

Primeiramente, o silício foi descoberto e preparado pelo Químico sueco Jakob Berzelius, em 1824, aquecendo tetrafluoreto de silício com potássio, posteriormente houve a descoberta do efeito fotovoltaico feita por Becquerel, que colocou dois eletrodos imersos numa solução ácida e constatou que havia a geração de eletricidade. Em 1860 Smith constatou o efeito condutivo, características de um matéria semicondutores quando submetido a uma diferença de potencial permite a condutividade de elétrons, anos mais tarde, por volta de 1930, Schottky destrincha a teoria do efeito fotovoltaico e em 1954 a primeira célula fotovoltaica (mono-silício) é criada por Pearson, Daryl Chapin e Calvin Fuller - desenvolvida em laboratórios da Bell Telephone - possuía medida de dois centímetros quadrados de área e eficiência de 6%, houve também a utilização da célula fotovoltaica alimentando satélites. Na década de 70, avanços significativos envolveram a história da tecnologia fotovoltaica como a criação da célula Poly-Si e no final dessa mesma década as aplicações dessa técnica, superaram as aplicações espaciais. A evolução da tecnologia fotovoltaica começou no século XIX com a descoberta de materiais essenciais. Berzelius identificou o Selênio (1800) e o Silício (1820), enquanto Becquerel observou o efeito fotovoltaico em 1840. Nas décadas seguintes, estudos sobre o efeito fotocondutivo no Selênio (Smith, 1860) e o desenvolvimento da primeira célula fotovoltaica de Selênio (Fritts/Uljanin, 1900) abriram caminho para aplicações mais avançadas. Paralelamente, avanços como o método de Czochralski para produzir monocristais de Silício (1920) e o desenvolvimento de células de Cu-Cu₂O (Grondahl & Geiger, 1930) consolidaram a base para dispositivos semicondutores. (PINHO et al., 2014)

O crescimento da eficiência das células solares foi impulsionado por descobertas teóricas e avanços tecnológicos no século XX. Em 1954, Pearson, Fuller e Chapin

desenvolveram a primeira célula solar de Silício funcional, seguida pelo aprimoramento das junções p-n difundidas (Fuller, 1955). A introdução das células de Silício Amorfo (1976) e dos modelos de junção avançados elevaram os rendimentos para 24% na década de 1990. No início dos anos 2000, a potência instalada global cresceu exponencialmente, dobrando entre 1999 e 2002, enquanto células multijunção ultrapassaram 34% de eficiência em 2006. (PINHO et al., 2014)

A indústria fotovoltaica se consolidou na década de 2010, com módulos de Silício Cristalino dominando o mercado e a capacidade instalada superando 100 GWp em 2012. O avanço contínuo das tecnologias e a queda nos custos tornaram a energia solar uma alternativa viável em escala global, impulsionando a transição para fontes renováveis. (PINHO et al., 2014)

Tal desenvolvimento está exposto de forma detalhado na tabela abaixo:

Tabela 1 - Detalhamento histórico.

DESCOBERTA HISTÓRIA	DÉCADA
Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)	1800
Preparação do Silício (Si) (Berzelius)	1820
Efeito Fotovoltaico (Becquerel)	1840
Efeito Fotocondutivo no Se (Smith)	1860
Efeito Fotocondutivo no Se (Adams & Day)	1880
Célula Fotovoltaica de Se (Fritts/Uljanin)	1900
Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)	1910
Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski)	1920
Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger)	1930
Teoria da Difusão Eletrônica (Dember)	1940
Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl)	1950
Célula Solar de CdS (Reynolds et al)	1960
O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W)	1962
Células Violeta com 15,2% de Eficiência	1973

Células de Silício Amorfo (a-Si)	1976
Células Metal-Insulador-Semicondutor (MIS) de 24% de Eficiência	1992
Células de Silício Monocristalino com Eficiência de 24,7%	1998
Potência Instalada Acumulada Atinge o Primeiro GWp	1999
Potência Instalada Acumulada Dobra em Relação a 1999	2002
Eficiência Superior a 20% para Células em Silício Policristalino	2005
Células Multijunção com Rendimentos Superiores a 34%	2006
Módulos de c-Si Dominam 87% do Mercado (John Wiley & Sons, 2011)	2008
Mais de 23 GWp Instalados (EPIA)	2009
Mais de 70 GWp de Potência Instalada Acumulada (EPIA, 2012)	2011
Potência Instalada Acumulada Supera 100 GWP (EPIA, 2013)	2012

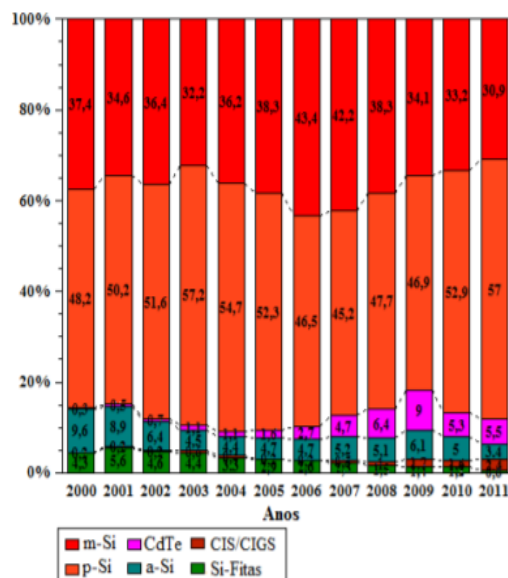
Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.3 HISTÓRIA NO BRASIL

A energia solar fotovoltaica energia obtida através da conversão de luz em eletricidade é uma das fontes de geração de energia elétrica vigente que crescem na Bahia e no Brasil. De acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a Bahia é a segunda maior geradora de energia outorgada no Brasil, possuindo 71 usinas e 2.052.111,35 KW de energia outorgada. Os primeiros módulos fotovoltaicos no Brasil chegaram em 1950 no Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e no Centro Tecnológico de Aeronáutica (CTA) - atual Centro Técnico Espacial. A primeira fotocélula foi obtida na Universidade de São Paulo (USP) em que utilizaram os conhecimentos acerca dos lingotes de silício monocristalino com o método

Czochralski (Si-Cz), assim como, os filmes finos que foram produzidos pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) , em 1970, havendo uma evolução de uma linha completa para a produção de células de Cu₂S/ CdS (sulfeto de cobre/ sulfeto de cádmio) , essa tecnologia evoluiu e atualmente o grupo predominante, entre as células produzidas, é o CdTe(telureto de Cádmio). Por volta de 1980 e 1990 ,houveram avanços que coadunadas com a purificação do silício para o uso em célula fotovoltaica e a fabricação das mesmas, sob essa mesma atmosfera, houveram implantações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, logo após,em 2002, a ANEEL iniciou estudos para a regulamentação das especificações técnicas necessárias a SIGFIs (Sistema Individual de Geração de Energia com Fontes Intermitente) para consumidores isolados da rede de distribuição possuindo normativa atual n° 493/2012. (PINHO et al., 2014)

Figura 1 Avanços da eficiência das células fotovoltaicas



Fonte: Pinho e Galdino (2014)

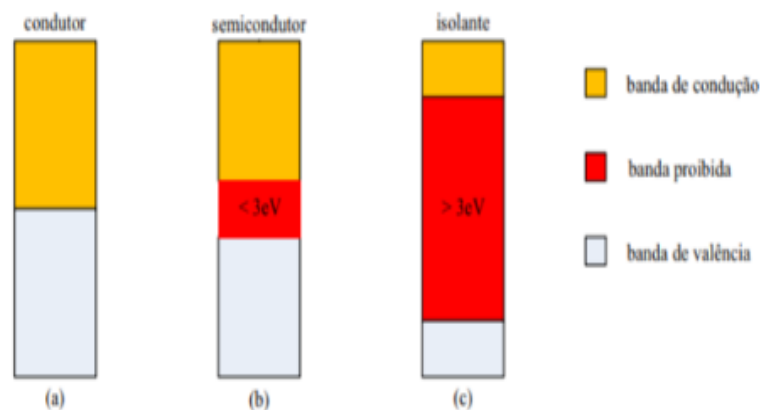
No encalço do desenvolvimento, em 2003, o Governo Federal apresentou o Programa Nacional de Universalização e Uso de Energia Elétrica - Programa Luz para Todos (LpT), assim milhares de SIGFIs foram instalados na Bahia e em Minas gerais pelas distribuidoras estaduais Coelba e Cemig. Em 2009, a lei n° 12111 estabeleceu o atendimento de energia elétrica de forma universalizada fazendo-se o uso de subsídios governamentais para o reembolso do custo de geração, isso implica na conservação do fornecimento de energia após a obliteração da LPT em 2014. Atualmente, o Brasil permanece investindo em tecnologia de purificação de silício,

células e módulos fotovoltaico, inversores e estudos sobre a aplicação dessa tecnologia, porém não foi atingido o nível de aperfeiçoamento nesta área, consoante com a Abinee (Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica) o ritmo de crescimento permanece lento. (PINHO et al., 2014)

2.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A essência do efeito fotovoltaico é viável devido às características dos materiais semicondutores, que no zero absoluto se comporta como um isolante possuindo uma camada de valência composta de elétrons e outra de condução “vazia”, a despeito dessas bandas de energia, com o aumento da temperatura haverá proporcionalmente ao da condutividade, ou seja, com a excitação térmica dos elétrons para a banda de condução surgirá na banda de valência lacunas positivamente carregadas, assim, o número de elétrons é o mesmo que o de lacunas denominados de portadores intrínsecos e para o silício (material mais utilizado) a concentração de portadores intrínsecos é de $1,45 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ 300K de temperatura, além disso, o divisor das bandas de energia é chamada de banda proibida ou gap este pode atingir até 3 eV (elétronvolt). (PINHO et al., 2014)

Figura 2 - Estrutura da banda de energia de condutores, semicondutores e isolantes.

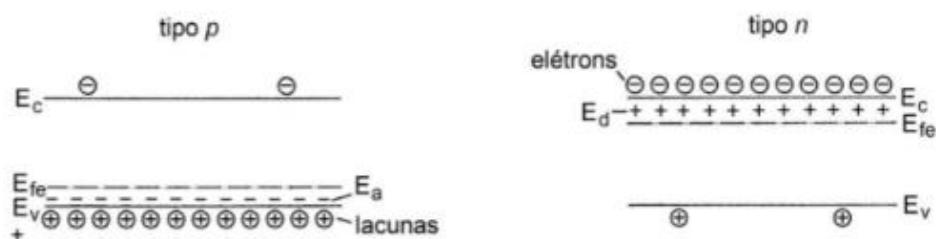


Fonte: Pinho e Galdino (2014)

A geração de portadores pode ser efetivada a partir da energia cinética das partículas que atingem o material por ionização por impacto, embora a fundamentação que permita a fabricação das células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons no material garantindo pares de elétron-lacuna que possuem energia superior a da banda proibida. Os elétrons foto gerados movem-se aumentando a condutividade do semiconductor - fotocondutividade, essa propriedade é usada nos espaços fabris no funcionamento de componentes eletrônicos denominados de fotocélula e fotoresistores, resistência elétrica varia com a incidência de luz. Sem embargo, para o aproveitamento da tensão e corrente é necessário aplicar um campo magnético para que os elétrons consigam romper o gap e que assim haja a separação dos portadores, a esse processo é dado o nome de dopagem que é a introdução de elementos impuros ou dopados mudando as propriedades elétricas do material intrínseco (sem dopagem chamado de tipo i).

Devido a sua abundância, o silício é o material mais usado nesse processo, sendo um átomo tetravalente (4 elétrons na camada de valência) possibilitando que 8 elétrons se compartilhem e formem uma rede cristalina. Um átomo pentavalente é introduzido, como o fósforo (P), havendo um elétron em excesso e possuindo energia de ligação muito fraca, cerca de 0,044 V, porém a energia térmica é suficiente para fazer o elétron saltar para a banda de condução essa dopagem é chamada tipo n ou doadoras de elétrons. Esse processo também é feito com materiais trivalentes, como o boro, onde haverá a falta de elétrons para fazerem ligação com o silício. Essa falta de elétrons é denominada de buraco ou lacuna possuindo um nível de energia de cerca de 0,045 acima do limite superior da banda de valência, esse dopante é nomeado tipo p. (PINHO et al., 2014)

Figura 3 - níveis de energia de materiais semicondutores.

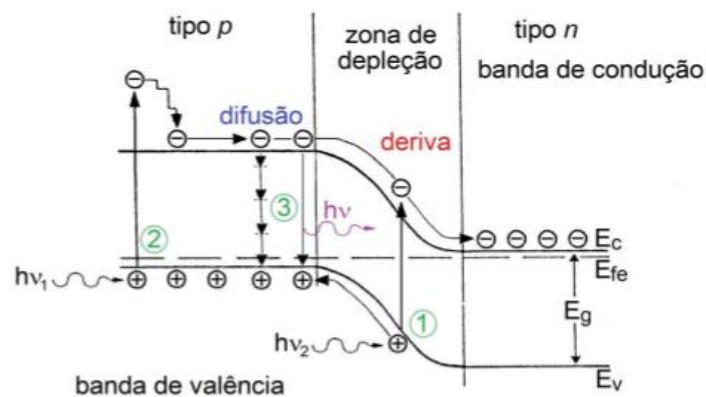


Fonte: Pinho e Galdino (2014)

Se em uma lâmina de silício for introduzido átomos de Boro e na outra metade átomos de Fósforo, será então formada a junção pn. Sob essa perspectiva, o excesso de elétrons da

região tipo n se difunde para a região tipo p, isso acarreta na perda de elétrons de átomos de Fósforo, originando cargas fixas positivas no lado tipo n. O mesmo processo acontece na outra interface, isto é, os elétrons que passam do lado n para o lado p encontram lacunas, isso faz com que a região tipo n fique com cargas fixas negativas, porquanto os átomos de boro recebem um elétron. O equilíbrio entre as cargas positivas e negativas é chamada de zona de depleção, desse modo haverá a geração de um campo elétrico na junção pn é uma barreira de potencial. (PINHO et al., 2014)

Figura 4 - Ilustrações da junção pn.



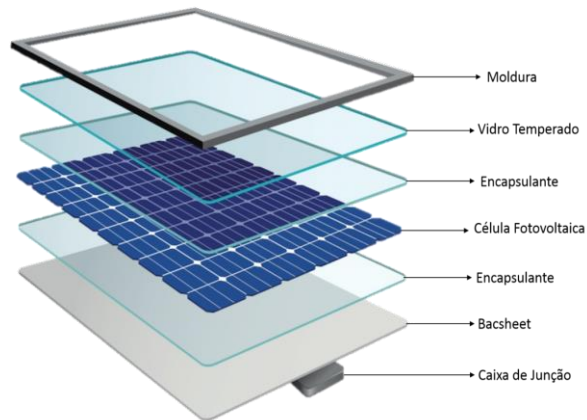
Fonte: Pinho e Galdino (2014)

2.5. TIPOS DE PLACAS SOLARES

A tipologia dos painéis solares se distingue pela sua composição química, o elemento que foi usado para fabricar, ou até mesmo quanto a sua forma. O material ou forma, torna ou não o painel solar mais eficiente. O tipo de painel escolhido ao acaso pode levar a resultados insuficientes, por isso é necessário o estudo da situação a qual a usina fotovoltaica vai ser submetida. Porém, uma placa se constitui basicamente das células fotovoltaicas, vidro protetor, da caixa de junção, encapsulante, dentre outros elementos básicos para o funcionamento

adequado. Para o estudo de algumas das tipologias das placas foi utilizado artigos publicados pela Neosolar, empresa focada na transição energética e inovação no campo de estudo elétrico.

Figura 5 - Elementos presentes em uma placa solar.



Fonte : Neosolar (2020?)

Dentre os diversos tipos de placas temos a placa solar monocristalina (mono-si), no qual cada célula dessa placa é composta por um cristal de silício, o que proporciona uma maior eficácia. A sua vida útil é a maior comparada às outras placas de silício, com expectativa de 25 a 40 anos. Atualmente a placa monocristalina é a mais utilizada, pois sua eficácia é maior em comparação com os outros tipos de placas, de acordo com Energiasirius. A placa solar da FULLSCREEN, umas das melhores placas disponíveis, com potência de 585 W, 22,64% de eficiência, tipo half cell (um tipo de design diferente, no qual os módulos são esperados ao meio, formando um retângulo). Por ser do tipo half tem uma eficácia maior pois ocupa menor espaço. Seu preço custa em média R\$643,49 (3/06/2024). (Neosolar, 2024)

Figura 6 - imagens de um Painel Solar Monocristalino 650W Halfcell Bifacial Canadian.



Fonte: Neosolar , [2020?]

Na placa solar policristalina (multi-si) há diversos cristais de silício, o que acaba dando uma aparência de vidro quebrado, mas são menos eficientes que a de monocristalina. A sua vida útil é de 25 a 30 anos. Normalmente a escolha dessa placa se dá pois tem um preço menor, mesmo tendo uma eficiência menor do que a placa monocristalina. Seu preço varia de R\$428,00-450,00, assim como sua potência. (Neosolar, 2024)

Figura 7 - Placa Solar Policristalina 340w policristalino 72 Células Thebe/ebar.



Fonte: Neosolar , (2024)

Nesta placa solar de filme fino (thin-film), é aplicada uma fina camada do insumo, o qual pode variar para que o custo seja o menor possível podendo ser de silício amorfo, cádmio,

cobre etc.; que pode ser irregular ou até mesmo flexível. Por ter os elementos que a compõem de baixa eficácia é a placa com menor eficiência. Esse tipo de placa não é muito utilizado pela sua dificuldade de instalação e manutenção, além do seu tempo de vida útil ser menor que todas as placas, de 25 ou mais. A placa de filme fino pode ser feita com Cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS), Silício amorfo (a-Si), Células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV) ou Telureto de cádmio (CdTe). (Neosolar, 2024).

Figura 8 - painel Solar Flexível 160w Monocristalino Fotovoltaico CNSDPV



Fonte: Neosolar , 2024

A placa de silício amorfo originalmente foi projetada para pequenos equipamentos, como calculadoras. Não tem um bom índice de eficiência, sendo ele de 6% a 9%, a causa é a hidrogenação que apresenta depois de um ano a exposição de luz solar, chamado efeito Staebler-Wronski, o fenômeno faz com que sua eficácia decaia um terço.(Neosolar, 2024)

As placas de seleneto de cobre, índio e gálio (cis /cigs) tem sua origem comercial foi na Alemanha em 2010, tendo mais adesão por conter menos cádmio, metal pesado tóxico. Seu rendimento opera na faixa de 10% a 12%.(Neosolar, 2024)

A placa de filme fino, telureto de cádmio (cdte), com maior retorno financeiro, pois sua eficiência vai de 9% a 16%. Por outro lado, o cádmio é tóxico o que acarreta em uma insegurança por parte do consumidor. A empresa First Solar é uma das que fornecem e pesquisam para melhoria do painel, oferecendo painéis com 550W. (Energiasirius, 2024)

As células fotovoltaicas orgânicas (opv) são placas construídas com polímeros ou material orgânico que possuem propriedades semelhantes à de metais ou semicondutores.

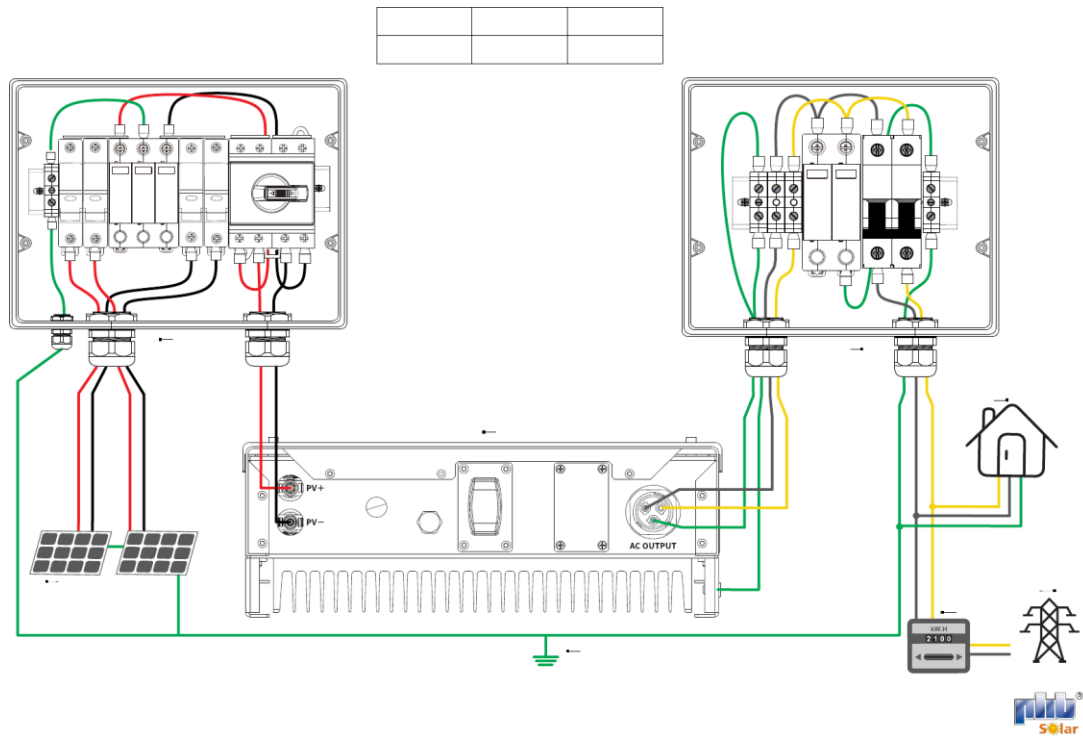
Tendem a ser mais transparentes para uma melhor captura de luz e mais flexíveis, o que as torna muito versáteis. (Energiasirius, 2024)

2.6 EQUIPAMENTOS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para a execução de um projeto de usina fotovoltaica, diversos equipamentos são utilizados esses equipamentos e seus dimensionamentos estão determinados pelas normas, NBR-16690(Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto), em comunhão com a NBR-5410(Instalações elétricas de baixa tensão).

Além, é claro, da utilização das placas solares e estrutura de fixação, equipamentos para a proteção do circuito anterior a UCP (Unidade de Condicionamento de Potência), ou seja, o inversor é de extrema importância. Para comportar tais equipamentos é recomendado uma *String Box*, um invólucro em que os módulos são conectados em paralelos e que comporta os dispositivos de proteção e/ou manobra. A *String Box* não se faz necessária quando o inversor vier com os equipamentos de projeção internamente.

Figura 9 - Esquema de ligação de uma String Box.



Fonte: Passei direto, ([2022?]).

É importante salientar que, na *String Box* não pode conter circuitos de naturezas diferentes, no caso, corrente contínua e corrente alternada, este requisito é descrito na NBR-5410; “4.2.5.7 Quando a instalação comportar mais de uma alimentação (rede pública, geração local etc.), a distribuição associada especificamente a cada uma delas deve ser disposta separadamente e de forma claramente diferenciada das demais. Em particular, não se admite que componentes vinculados especificamente a uma determinada alimentação compartilhem, com elementos de outra alimentação, quadros de distribuição e linhas, incluindo as caixas dessas linhas [...]” (ABNT NBR 5410, 2004).

De acordo com as normas, os dispositivos de proteção alojados na *String Box*, seguem as recomendações das duas normas e devem conter dispositivos de proteção contra choque elétrico do usuário, efeito térmico e incêndio, contra sobre tensão e seccionamento.

A usina solar deve conter elementos de proteção de ambas as naturezas da energia elétrica, sendo ela alternada ou contínua. Por isso, é necessário o dimensionamento para ambas

partes, mas o dimensionamento dos equipamentos em corrente alternada (CA) é utilizado para os equipamentos de corrente contínua (CC). Portanto, no mínimo devem conter os itens:

2.6.1 Dispositivo De Seccionamento CC E CA

Responsável por fazer o chaveamento entre os módulos fotovoltaicos e a UCP. “Todos os condutores vivos, em todos os circuitos, devem ser seccionados, com exceção daqueles especificados em 5.6.2.2, que são os condutores de proteção. Um conjunto de circuitos pode compartilhar um dispositivo de seccionamento comum, que pode ser, ou não, adicional aos meios de seccionamento de que cada circuito for individualmente provido, desde que as condições de serviço permitam o seccionamento comum”. (ABNT NBR 5410, 2004).

Neste trabalho, utilizaremos: disjuntores CC e CA e o DR (Diferencial Residual) como dispositivos de seccionamento.

2.6.2 Disjuntores Cc (Corrente Contínua) E Ca (Corrente Alternada)

Responsável pela proteção contra sobre tensão e/ou curto circuito e manobras. Sua proteção contra sobrecarga é realizada através do princípio de funcionamento térmico. O disjuntor é composto por atuadores bimetalicos, que ao passar uma corrente fora da curva nominal, seu par bimetalico se aquece dilatando assim seus metais, acontecendo a abertura dos seus contatos.

Paralelamente, o funcionamento para curto circuito acontece a partir do princípio magnético, que atua internamente com aumento repentino da corrente.

Os disjuntores possuem categorias enquanto a sua atuação, podendo ter comportamento resistivo (curva B), comportamento indutivo (curva C) ou quando são indicados para motores elétricos (curva D).

O disjuntor é dimensionado sob as especificações da NBR 5410, que estabelece que a corrente nominal (I_n) do disjuntor deverá ser maior ou igual a corrente de projeto (I_b) e menor ou igual a corrente de condução (I_z). Para sistemas fotovoltaicos a categoria, ou curva de atuação, seria o de curva B já que os painéis fotovoltaicos possuem um comportamento resistivo e dissipam muito calor. (ABNT NBR 5410, 2004).

2.6.3 Dispositivo De Proteção Residual

Este equipamento protege contra correntes de fugas que podem eventualmente surgir no circuito. Essas correntes surgem por uma má isolamento, contato direto ou indireto com a parte energizada do circuito. Seu princípio de funcionamento é baseado na lei de Kirchoff, na qual a soma das correntes que entram devem ser as mesmas das que saem. Desta forma, a corrente que eventualmente não seja aplicada no local desejado, desviando para um ponto fora do circuito faz com que o dispositivo seja colocado em funcionamento. O DR é dimensionado sob as especificações da NBR 5410, que estabelece que tal dispositivo seja instalado em instalações que compreende áreas molhadas, o dispositivo residual deverá ter alta sensibilidade ($I_{\Delta N} \leq 30\text{mA}$). (ABNT NBR 5410, 2004)

2.6.4 Bornes De Conexão De Sistemas Fotovoltaicos.

Responsável pela conexão dos módulos, além da conexão de outros elementos elétricos. Os bornes de conexão são essenciais pois suspendem o uso de emendas na instalação, reduzindo os riscos da mesma. Para conectar os componentes de um sistema fotovoltaico, utiliza-se o conector MC4. O conector MC4 é um componente essencial para a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica, pois permite conectar dois ou mais painéis solares. (Minha Casa Solar, 2024).

Figura 10 - Conector MC4, macho e fêmea.



Fonte: Energeasy Solar ([2020?]).

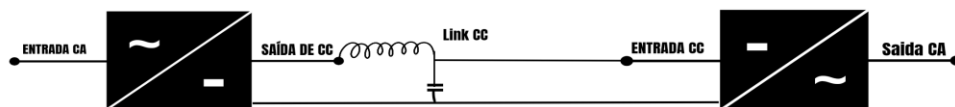
2.6.5 Inversor De Frequência

O inversor de frequência é um equipamento eletrônico que controla a velocidade de funcionamento dos equipamentos. O princípio de funcionamento consiste no chaveamento de chaves estáticas por modulação, em outras palavras o inversor captura a tensão da rede de distribuição convertendo-a em corrente contínua (CC), por meio de uma ponte retificadora de diodos também chamada de link CC, essa tensão e corrente contínua é filtrada por capacitores e indutores e por último passa por semicondutores - transistor é o mais utilizado - que voltam a converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada(CA), conteúdo possuirão uma onda quadrada de tensão fazendo-se necessário a utilização da largura de Pulso (transforma para uma onda senoidal) também chamada de PWM(PULSE WIDTH MODULATION). Nesse sentido, nem todos os inversores são iguais, há os inversores utilizados para motores e para sistemas fotovoltaicos, nos inversores de frequência para motores são usados com o objetivo de controlar a velocidade e o torque dos motores elétricos, a partir da variação da frequência da tensão, assim, esse inversor exerce função de proteção contra sobrecarga, curto-circuito e controle de partida. Já os inversores de frequência nos sistemas fotovoltaicos fazem a conversão da corrente

contínua gerada nos painéis fotovoltaicos, em corrente alternada com tensão adequada para alimentar as cargas.

Convém salientar, que nesse dispositivo alguns componentes são intrínsecos no processo, como: A interface homem/máquina (IHM) que permite a visualização das grandezas referentes ao processo, bem como, a Unidade Central de Processamento (CPU) que a partir da geração de pulsos de disparo armazena os dados e parâmetros relativos ao equipamento e funcionamento do inversor, há também as Interfaces que são os comandos por sinal em um inversor, que trabalha no quadro de sinal podendo ser digital ou analógico - velocidade de rotação é proporcional ao valor de rotação. (Franchi, 2013).

Figura 11 - Diagrama do inversor de frequência.



Fonte: adaptado de Franchi, 2013

2.7 TIPOS DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Em um sistema fotovoltaico, os podem ser comutados pela rede - inversão controlada pela rede elétrica ou por comutação forçada - controle realizado pelo próprio inversor. (CRESESB, 2004). Vejamos, detalhadamente, os tipos de inversores abaixo:

2.7.1. Inversor Solar Grid-Tie (Inversor Solar On Grid):

O inversor grid-tie consiste em converter a corrente contínua (CC) gerada pela usina fotovoltaica em corrente alternada (CA) para consumo. Sua maior característica é a interligação com a concessionária de energia, sua interligação é feita de modo que a frequência (Hz) e tensão (V) estejam similares a da rede, e é considerado inteligente pois se desliga da rede caso haja falha ou pausa para manutenção. Este tipo de inversor não necessita de baterias ou controladores de carga, o que aumenta sua eficiência.

Por se tratar de um equipamento importante sua confiabilidade deve ser primordial, empresas como a WEG, SMA e Fronius são de boa avaliação.

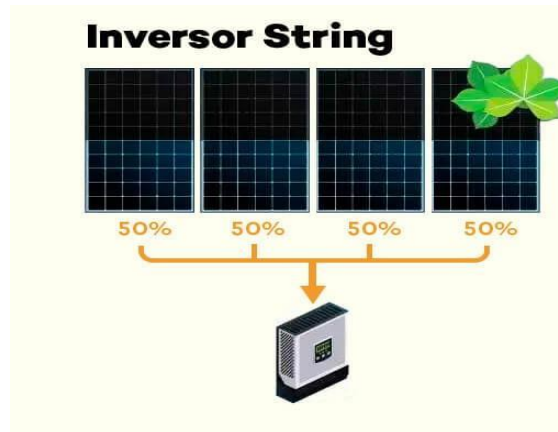
“A escolha do inversor empregado no sistema fotovoltaico deve levar em conta os seguintes critérios:

A tensão d% ape circuito aberto da string não pode ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor. Deve-se observar cuidadosamente esse critério, pois uma sobretensão na entrada do inversor pode danificar o equipamento irreversivelmente. O inversor deve ser especificado para uma potência igual ou superior à potência de pico do conjunto de módulos.” (VILLALVA, 2015, pág.210)

2.7.2 Inversor Solar String (String Inverter)

O inversor *string* consiste em agrupar os painéis solares em uma única *string*, necessitando que as placas estejam todas no mesmo ângulo, mesmo comprimento e ser também o mesmo tipo de placa solar (componente químico). Uma das grandes desvantagens deste inversor é que sua configuração não proporciona uma análise específica de cada módulo, sendo assim, se acaso uma das placas estiver com mau funcionamento todo o circuito é prejudicado. (FRANCHI, 2013)

Figura 12 - Inversor String.



Fonte: Neosolar , [2024?]

2.7.3 Inversor Solar Off Grid

O inversor off grid é usado com sistemas desconectados da rede, ou seja, usam um sistema de baterias, normalmente esse sistema é usado em lugares mais afastados sem acesso à energia elétrica. Os inversores off grid têm normalmente suas tensões de saída 110/220V, para atender eletrodomésticos e eletrônicos residenciais. Algumas marcas de referência para compra deste inversor são Hayonik, Technomaster, Unitron e Usina Spark. (FRANCHI, 2013)

Figura 13 - Inversor Solar Off Grid Epever 24V Para 220V 3000W Onda Senoidal Pura 60Hz



Fonte: Magazineluiza [2024?]

2.7.4 Inversor Solar Central

Esse tipo de inversor é usado para grande porte, normalmente empregados em indústrias e usinas fotovoltaicas.

2.7.5 Inversor Solar Híbrido

O inversor híbrido permite que a conversão seja tanto para o sistema ligado à rede (on-grid) ou desconectado dela (off-grid). Mas suas funções vão além do seu funcionamento, o inversor híbrido tem como uma das suas funções inteligentes injetar energia na rede quando o período do dia estiver com mais alto valor no preço da energia e consumir energia em períodos do dia com preços mais baixos. Esse tipo de inversor é recomendado para aplicação em painéis fotovoltaicos onde a energia elétrica tem baixa qualidade. (FRANCHI, 2013)

Figura 14 - Inversor Híbrido.



Fonte: Canal solar, [2024?]

2.7.6 Micro inversor solar

Esse inversor faz a inversão de apenas um painel por conta da sua capacidade, entretanto a sua eficiência energética é maior comparado a um sistema *string*, é uma solução inteligente para consumidores de baixa demanda de potência. (FRANCHI, 2013)

Figura 15 - Microinversor usado para a conexão de um módulo fotovoltaico individual à rede elétrica.



Fonte: VILLALVA, (2015)

2.8 APLICAÇÕES E VANTAGENS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia solar fotovoltaica tem se consolidado como uma alternativa essencial para diversificar a matriz energética brasileira, reduzindo a dependência de fontes hidrelétricas e contribuindo para a segurança energética do país. Com um dos maiores índices de irradiação solar do mundo, o Brasil tem um enorme potencial para a geração de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, "a energia solar é uma das principais armas do país para cumprir [as metas do Acordo de Paris], visto o enorme potencial da fonte em nosso território" (gov.br). Além de mitigar os impactos ambientais causados pela geração convencional de eletricidade, a energia fotovoltaica favorece a

descentralização da geração de energia, tornando os consumidores menos dependentes do fornecimento centralizado e das oscilações tarifárias das concessionárias.

Além de seus benefícios ambientais, a adoção de sistemas fotovoltaicos impulsiona a economia nacional e gera oportunidades de negócios. Com a redução dos custos de instalação e operação, essa tecnologia se tornou mais acessível para consumidores residenciais, estabelecimentos comerciais e indústrias. Pequenos e médios empreendedores também se beneficiam ao reduzir despesas com eletricidade, direcionando recursos para outras áreas estratégicas. A valorização imobiliária é outro fator relevante: imóveis equipados com painéis solares tendem a ser mais atrativos para compradores e locatários, pois oferecem redução nos custos energéticos a longo prazo. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), o setor já movimentou mais de R\$ 125 bilhões em investimentos desde 2012, gerando mais de 750 mil empregos diretos e indiretos no Brasil (absolar.org.br).

O avanço da energia solar também tem um impacto significativo na inclusão social e no desenvolvimento regional. Em comunidades isoladas, especialmente na região amazônica, sistemas fotovoltaicos têm levado eletricidade a milhares de famílias que antes dependiam de geradores a diesel ou sequer tinham acesso à energia elétrica. O programa "Luz Para Todos", por exemplo, já beneficiou mais de 150 mil consumidores na Amazônia Legal por meio da instalação de sistemas fotovoltaicos autônomos e baterias, garantindo fornecimento energético sustentável e confiável. A meta do governo é atender mais de 900 mil moradores da região até 2026, com a instalação de kits solares em cerca de 228 mil unidades consumidoras (gov.br).

A utilização da energia solar fotovoltaica tem se expandido de forma significativa devido à sua viabilidade técnica, acessibilidade econômica e benefícios ambientais. No setor residencial, essa tecnologia permite a alimentação de cargas elétricas, reduzindo os custos com eletricidade e proporcionando maior autonomia energética aos consumidores. No âmbito agropecuário, os sistemas fotovoltaicos desempenham um papel fundamental no funcionamento de bombas d'água para irrigação, bem como na operação de equipamentos essenciais, como ordenhadeiras mecânicas e sistemas de resfriamento de leite, garantindo maior eficiência na produção rural. Além dessas aplicações convencionais, a energia solar tem sido implementada em diversas inovações, incluindo o abastecimento de veículos elétricos, a alimentação de equipamentos móveis em feiras e food trucks, e a instalação em regiões remotas sem acesso à rede elétrica convencional.

A crescente adesão aos sistemas fotovoltaicos no Brasil está diretamente associada à ampliação dos incentivos financeiros e ao avanço da tecnologia no setor. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a implementação de sistemas fotovoltaicos pode reduzir em até 95% os custos com eletricidade para os consumidores conectados à rede elétrica, tornando-se um investimento estratégico na redução de despesas energéticas e na mitigação dos impactos ambientais causados por fontes convencionais de geração (ANEEL, 2020). Essa acessibilidade tem impulsionado a adoção da tecnologia tanto por consumidores individuais quanto por empresas, promovendo a descentralização da matriz elétrica nacional e reduzindo a sobrecarga no sistema interligado.

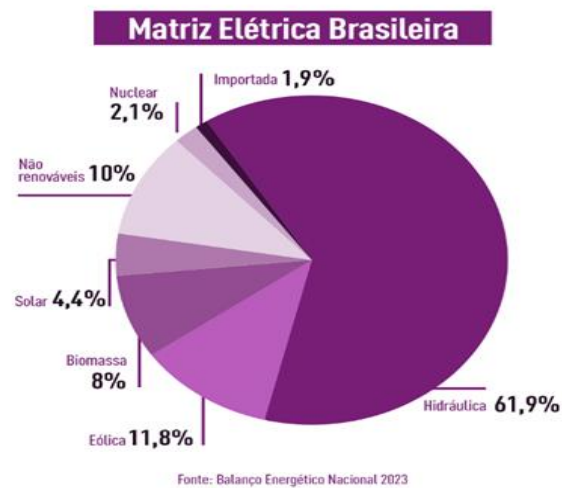
Quando comparada às fontes tradicionais de geração de energia, a energia solar se destaca pelo seu caráter renovável e sustentável. Conforme dados da ANEEL, aproximadamente 53,88% da eletricidade consumida no Brasil provém de usinas hidrelétricas, cuja instalação pode gerar impactos ambientais significativos, como o desvio de cursos d'água, a degradação de ecossistemas e o deslocamento forçado de comunidades ribeirinhas (ANEEL, 2021). Em contrapartida, os sistemas fotovoltaicos requerem menor área para sua instalação, possuem baixa necessidade de manutenção e apresentam uma vida útil que pode ultrapassar 25 anos com elevada eficiência. Além da sustentabilidade ambiental, a adoção da energia solar contribui para a segurança energética nacional, reduzindo a dependência de fontes fósseis e diversificando a matriz elétrica. Dessa forma, a energia fotovoltaica se consolida como uma solução essencial para a modernização do setor elétrico, alinhada às metas globais de transição energética e desenvolvimento sustentável.

2.9 A RELEVÂNCIA DA ENERGIA SOLAR NO CONTEXTO ATUAL: SUSTENTABILIDADE E DESAFIOS PARA O SETOR ENERGÉTICO

A matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por usinas hidrelétricas, que representam 61,9% da energia gerada no país, conforme o Balanço Energético Nacional de 2023. Embora sejam frequentemente classificadas como fontes renováveis, essas instalações possuem um impacto ambiental significativo, desmistificando a ideia de que são uma solução sustentável a longo prazo. A construção de hidrelétricas exige a formação de extensos

reservatórios, o que implica no alagamento de grandes áreas florestais e na consequente destruição de ecossistemas nativos. Esse processo altera drasticamente a biodiversidade local, comprometendo habitats de diversas espécies terrestres e aquáticas, muitas das quais são endêmicas e correm risco de extinção. Além disso, a matéria orgânica submersa nos reservatórios sofre decomposição anaeróbica, resultando na liberação de metano (CH₄), um gás com potencial de aquecimento global cerca de 25 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO₂). Dessa forma, as usinas hidrelétricas, paradoxalmente, contribuem para as mudanças climáticas, contrariando a percepção de que são uma alternativa ambientalmente neutra. A imagem abaixo foi retirada do blog da Raízen.

Figura 16 - Matriz elétrica do Brasil



Fonte: RAIZEN, (2023)

Os impactos sociais também são expressivos. A instalação dessas usinas frequentemente desloca comunidades indígenas e ribeirinhas, forçando a perda de territórios tradicionalmente ocupados e ameaçando a subsistência de populações que dependem dos rios para alimentação, transporte e cultura. Um exemplo emblemático é a Usina de Belo Monte, no Rio Xingu, cuja construção resultou na remoção de milhares de famílias e na drástica redução do volume de água em trechos essenciais do rio, afetando diretamente o modo de vida dessas populações.

Além dos danos ecológicos e sociais, as hidrelétricas apresentam vulnerabilidades operacionais. Em períodos de estiagem prolongada, a redução do nível dos reservatórios compromete a capacidade de geração elétrica, tornando o sistema dependente de fontes complementares, como termelétricas e combustíveis fósseis, que elevam os custos da energia e ampliam as emissões de poluentes atmosféricos. Diante desse cenário, torna-se imperativo diversificar a matriz energética nacional com fontes de menor impacto ambiental, como a energia solar e a eólica, que juntas representam apenas 16,2% da geração elétrica do país. Essas tecnologias apresentam vantagens como menor interferência nos ecossistemas, alta escalabilidade e viabilidade técnica para atender diferentes demandas energéticas. Além disso, a descentralização proporcionada por essas fontes reduz a necessidade de extensas redes de transmissão, minimizando perdas elétricas e aumentando a eficiência do sistema.

A energia solar se destaca como uma opção estratégica para reduzir a dependência das hidrelétricas no Brasil, que, apesar de eficientes, geram impactos ambientais e sociais consideráveis. O desmatamento, a perda de biodiversidade e o deslocamento de comunidades são algumas das consequências desse modelo centralizado. Já a energia solar, por operar sem necessidade de grandes infraestruturas, minimiza esses efeitos, proporcionando uma alternativa mais sustentável. Além disso, sua independência das variações climáticas garante maior estabilidade ao sistema elétrico, reduzindo riscos em períodos de seca.

Outro ponto crucial é a descentralização da geração, possibilitando a produção de energia em diferentes localidades, como áreas rurais e urbanas, sem grandes perdas na transmissão. Isso não apenas amplia a segurança energética, mas também reduz custos operacionais e a necessidade de usinas poluentes, como as termelétricas. O avanço dessa tecnologia depende de incentivos que tornem sua implementação mais acessível, permitindo que o Brasil fortaleça sua matriz energética de forma equilibrada e sustentável, sem os danos associados às fontes convencionais.

3.0 METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo visa analisar a viabilidade da implementação de uma usina fotovoltaica para consumidores com baixa renda, a fim de que o projeto seja financeiramente e tecnicamente

viável. A população alvo da pesquisa são famílias baixa renda da região metropolitana de Salvador, a classificação foi feita a partir de programas que o governo oferece para essa população, dentre eles o CadÚnico, minha casa minha vida, Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa.

Os dados coletados dos supracitados programas governamentais foram importantes para que houvesse uma classificação dos consumidores contemplados por esse projeto.

O projeto da usina fotovoltaica é completamente dimensionado seguindo as normas vigentes, dentre elas a ABNT 5410 e NBR 16690, além de análise para substituição de sistema de aquecimento hidráulico por Boiler. O projeto visa a criação de uma usina fotovoltaica para consumidores baixa renda, a fim de que essa tecnologia seja de amplo acesso, além de proporcionar uma segurança em relação ao abastecimento energético e o seu custeio.

3.1 PESQUISA TEÓRICA.

A energia solar apresenta um futuro próspero por se tratar de uma energia limpa e de fácil acesso, já que sua transformação acontece a partir das radiações solares. De acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), a capacidade instalada de energia solar cresceu mais de 20% em 2023, aponta também que as energias renováveis foram responsáveis por 86% da energia nova gerada no mundo.

3.2 PESQUISA TEÓRICA DOS DISPOSITIVOS PRESENTES NO PROJETO FOTOVOLTAICO.

Para a instalação da usina fotovoltaica é necessário o dimensionamento dos diversos equipamentos de proteção, manobra, inversor e aterramento. Além dos dispositivos citados, foi implementado no projeto o aquecimento hidráulico por Boiler, o qual igualmente precisa ser

dimensionado. A escolha dos equipamentos presentes no sistema foi pensada para que haja uma excelente eficiência, mas sem elevar o custo do projeto. Todos os dimensionamentos foram feitos seguindo normas técnicas, dentre elas a NBR 5410, 2004.

3.2.1 Dispositivos De Proteção e Outros

Os dispositivos de proteção garantem a segurança das instalações elétricas, por isso faz-se necessário a utilização do conjunto de equipamentos a exemplo de disjuntores e DPS. Os DPS são dispositivos de proteção contra surtos de tensão, ou seja, quando há um aumento repentino na tensão, dissipando a energia do surto e mantendo a tensão dentro dos limites de segurança do sistema, por outro lado, os disjuntores, que podem para CC (corrente contínua) ou CA (corrente alternada), protegem o circuito contra surtos de corrente atuando quando esta ultrapassa faixa nominal de funcionamento podendo danificar o circuito. Convém salientar, que os disjuntores CC permitem que a corrente flua em uma única direção, já o disjuntor CA a corrente muda de direção periodicamente com uma frequência de 60Hz (dado da SM04.08-01.005- Norma para Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição Classes 69 e 138 kV.)

“Um sistema contendo dois strings de 10 painéis de 330 Wp está conectado a um inversor de 6 kW. O inversor é monofásico, com tensão de entrada de 220 V. Analisando o datasheet do painel vemos que a associação de 10 módulos em série produz uma tensão máxima de 469,8 V. Portanto, devemos buscar um dispositivo de proteção contra surtos com U_c maior que esse valor. O tipo do DPS selecionado depende da existência de um SPDA e da distância de separação. Neste exemplo vamos considerar que o sistema está instalado em um edifício sem SPDA. Para esse tipo de edifício o DPS recomendado para o sistema fotovoltaico é do Tipo 2.” (CANAL SOLAR, 2019)

3.2.1.1 Dimensionamento dos disjuntores.

O dimensionamento dos disjuntores é feito a partir da seção dos condutores dos circuitos e capacidade de conduzir corrente dos condutores.

$$IB < I_n < I_z \text{ e } I_2 < 1,45 I_z$$

Onde: IB é a corrente de projeto do circuito; Iz é a capacidade de condução de corrente dos condutores, nas condições previstas para sua instalação (ver 6.2.5); In é a corrente nominal do dispositivo de proteção (ou corrente de ajuste, para dispositivos ajustáveis), nas condições previstas para sua instalação. I2 é a corrente convencional de atuação, para disjuntores, ou corrente convencional de fusão, para fusíveis. (5.3.4.1 Coordenação entre condutores e dispositivos de proteção).

3.2.1.2 Dimensionamento do dr (diferencial residual)

O DR deve ser utilizado em ambientes molhados utilizados em circuitos onde ocorre riscos de fuga e choque elétrico, normalmente usados em circuitos com chuveiro elétrico, máquina de lavar, geladeira e em tomadas onde há risco de choque elétrico. Áreas externas e homólogos. E a sua corrente segue a do disjuntor. Sua sensibilidade tem que ser alta (30mA) para evitar choques elétricos graves. (ABNT NBR 5410, 2004).

No projeto o DR foi utilizado nos circuitos da cozinha e área de serviço, ambiente que se enquadraram na descrição da norma citada anteriormente.

3.2.1.5 Aterramento dos sistemas fotovoltaicos

O aterramento da usina fotovoltaica se faz necessário pois estão suscetíveis a descargas atmosféricas, surtos na rede elétrica etc. O aterramento é um caminho para a terra que a corrente percorre para não danificar o sistema. A execução deste aterramento deve ser feita por profissionais, pois caso não seja feito de maneira adequada pode causar interferência eletromagnética que afeta outros componentes. O aterramento é feito em conjunto com o aterramento da habitação para que não haja desequiparação dos sistemas.

O aterramento consiste no dimensionamento do condutor terra que fornecerá um eventual caminho em caso de fuga de corrente ou descarga elétrica atmosférica, ou seja, a falta do aterramento pode gerar danos irreversíveis aos equipamentos e as pessoas que fazem uso dos imóveis. De acordo com NBR 5410, o aterramento é um requisito obrigatório e indispensável em uma instalação. Os esquemas de aterramento dependem do tipo de instalação, em como da potência instalada e seção dos condutores para condutores fase de seção 16 mm o condutor terra terá a mesma seção, mas se os condutores fase forem até 35 mm o condutor do

aterramento será de 16 mm e por último se o condutor fase for igual ou maior que 50mm a seção da proteção será a metade do condutor.

“A recomendação é conhecer bem as normas técnicas da ABNT que tratam sobre o tema: NBR 5410, sobre aterramento em geral; NBR 16690, sobre sistemas fotovoltaicos; e outras como a NBR 16274, NBR 16612 e NBR 5419, caso sejam necessárias. E, claro, é preciso conhecer as regras da concessionária local. Na NBR 5410 existem sete tipos de esquema para o aterramento. Em sistemas fotovoltaicos, é preciso utilizar um dos subtipos do esquema TN, em que o neutro é aterrado: TN-C, em que as massas (equipamentos e circuitos) se conectam ao aterramento pelo neutro, que também é o condutor de proteção; TN-S, em que um condutor de proteção independente do neutro conecta o aterramento às massas; TN-C-S, em que o neutro e o condutor de proteção são combinados em um único condutor na instalação, que é aterrado.” (solarvolt energia, 2021)

Portanto, o aterramento que deve ser utilizado para a segurança pessoal e da instalação é o tipo TN-S, adequado para instalação residencial, além do sistema fotovoltaico.

3.2.1.6 Dimensionamento do inversor de frequência

O dimensionamento de um inversor irá depender da sua aplicação. No caso em análise será residencial integrado à rede da concessionária. Para dimensionar o inversor é necessário analisar os dados de demanda de potência e potência fornecidos pela usina fotovoltaica. A escolha do inversor vai ser feita de acordo com a necessidade e a ficha técnica do equipamento em questão. A corrente de saída do inversor deve ser ligeiramente maior que sua tensão de pico, para garantir um bom funcionamento.

3.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO

Visando a implantação de um sistema energético mais eficiente e que proponha um maior conforto à população alvo, foi também analisada a possibilidade da implantação de um sistema de aquecimento de água solar, substituindo assim o aquecimento elétrico de água. Para o aquecimento da água residencial será usado o sistema de aquecimento por Boiler. Esse sistema garante uma maior economia na energia elétrica por não utilizar desta fonte energética para aquecimento da água. O aquecimento por Boiler é feito a partir dos coletores solares, que são

placas dispostas na parte superior da casa, longe de sobras ou algo que possa impedir a radiação solar direta.

Os coletores são compostos por uma tampa de vidro, ao passar a radiação por esse vidro, no seu interior contém aletas feitas de matérias que são bons condutores térmicos, após o aquecimento da água o seu direcionamento é feito para o reservatório.

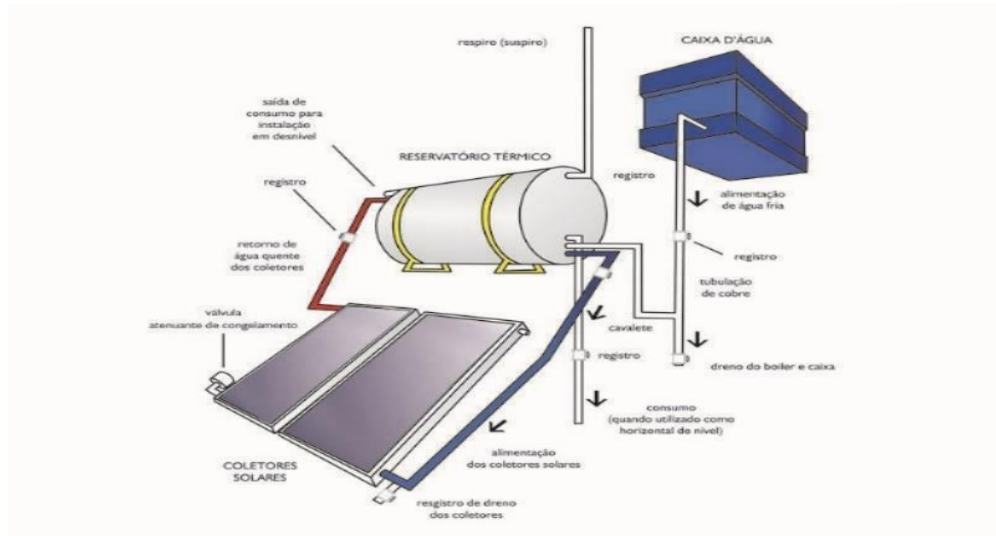
Figura 17- Aquecedor Solar a Vácuo 300 Litros UNISOL 30 Tubos Aço Inox 316 + Caixa Auxiliar.



Fonte: Patrosol (2024)

O reservatório é o Boiler, é uma caixa d'água feita normalmente de cobre para armazenamento da água aquecida e um destruidor para o chuveiro. Essa distribuição deve ser feita em conjunto com uma tubulação com água fria, desta forma a temperatura poderá ser ajustada.

Figura 18 - Esquemas de instalação e funcionamento do aquecedor solar.



Fonte: Soletrol ([2024?]).

3.3.1 Dimensionamento Do Boiler

O dimensionamento do sistema varia de acordo com a quantidade de pessoas que residem na moradia, vazão da água, pontos aquecidos e quantos litros de água é gasto por uso.

De acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde), o tempo de duração de um banho dura de 5 a 10 minutos, com gasto de 40-60 litros de água. Desta forma temos o seguinte cálculo: Consumo = $3 \times 50 \times 2 = 300$ litros.

Entretanto, é recomendável um adicional de 30%, assim temos que o reservatório precisa ser de no mínimo 390 litros. O cálculo considera que cada pessoa da residência tome dois banhos diários.

3.3.2 Estudo Econômico Sobre A Implantação Do Sistema De Aquecimento Por Boiler.

Para a realização desse estudo sobre a economia da instalação do boiler em comparação com um chuveiro elétrico foi utilizado um chuveiro de 5500W de potência (Lorenzetti, 2025). O cálculo será baseado em uma residência que abriga 3 pessoas com consumo de dois banhos diários de aproximadamente 10 minutos. Desta forma temos:

Consumo = potência do chuveiro x dias no mês x horas de banho = 5500 x 1 hora x 30 dias = 165 kWh/ mês.

Este cálculo mostra a potência consumida em um mês para a residência em que baseamos a pesquisa. Já para o valor a ser pago do consumidor é dado pela seguinte forma:

Conta energética = 165 kWh/mês x 0,67008600 (valor da Tarifa CDE) = 110, 56 reais.

Desta forma é possível analisar que um chuveiro elétrico aumentaria significativamente a conta de energia a ser paga pelo consumidor. Assim o boiler se torna uma alternativa melhor, tanto extinguindo o valor a ser pago tanto contribuindo para a sustentabilidade.

Um boiler com a capacidade necessária custa em média R\$3.300 (Xtubos,2025), assim o valor a ser pago pelo boiler é o equivalente a 30 meses, 2 anos e 6 meses, uso diário do chuveiro elétrico. Portanto, o boiler se torna uma alternativa promissora para um conforto do usuário.

3.4 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES E OUTROS

O dimensionamento dos condutores é feito a partir do projeto arquitetônico, portanto suas dimensões são muito importantes. O dimensionamento é feito seguindo a Norma 5410, a qual determina que para o dimensionamento dos condutores deve ser feito os métodos do critério mínimo, condução de correte e queda de tensão, para então determinar qual maior seção a ser utilizada na instalação residencial. A tabela a seguir mostra o dimensionamento de condutores, eletroduto, disjuntores e DRS da residência preestabelecida.

Tabela 2 – dimensionamento de condutores, eletroduto, disjuntores e DRS

CIRCUITOS	CONDUTORES	DISJUNTOR	DR	DISJU. GERAL	ELETRODUTO
1- iluminação	1,5mm ²	10A	-	63A	20mm
2-tug cozinha	2,5mm ²	24A	24A		
3- tug área serv.	4,0mm ²	32A	32A		
4- tug	2,5mm ²	20A	-		

Fonte: Elaboração própria.

4.0 CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES

Os consumidores contemplados por estes programas são aqueles que estão cadastrados no CadÚnico, ou seja, tem renda per capita menor ou igual a meio salário mínimo. Esses consumidores são beneficiados com a isenção do custeio da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE. O desconto na conta de energia é baseado no consumo das famílias, seguindo o quadro abaixo.

Tabela 3 - A tarifa social energética. Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

Parcela de consumo mensal de energia elétrica	Desconto
de 0 a 30 kWh	65%
de 31 kWh a 100 kWh	40%
de 101 kWh a 220 kWh	10%
a partir de 221 kWh	0%

Fonte: ANEEL (2022).

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS CONSUMIDORES DE BAIXA RENDA

A Bahia possui 14,7 milhões de habitantes, segundo os dados preliminares do Censo demográfico de 2022, distribuídos em uma área territorial de 567.295 km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022). Para basear nossa pesquisa retiramos dados das famílias baianas no Cadastro Único (CadÚnico), em fevereiro de 2024 haviam 4.279.433 famílias beneficiadas (aplicações.mds.gov.br). A fim de contabilizar os domicílios competentes para a instalação dos painéis, selecionamos o número médio de moradores por domicílio na Bahia, que é de 2,77 pessoas.

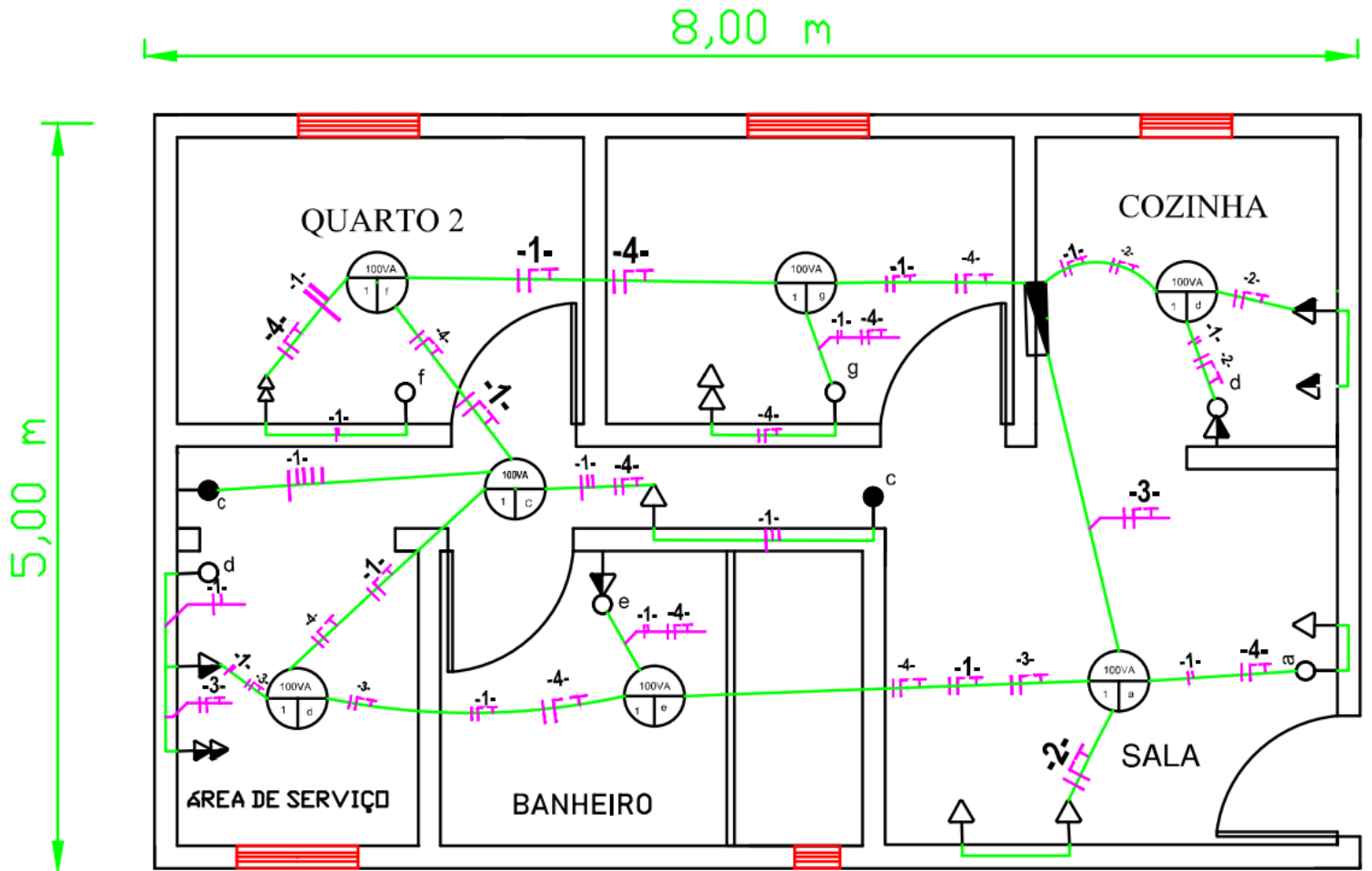
Na região metropolitana da Bahia, a produtividade média teria variação de 1.260,0 a 1.420,0 Wh/Wp/ano, com fator de capacidade médio entre 14,4 e 16,2%. Considerando restrições ambientais, a faixa de maior irradiação solar no Brasil apresenta média de 6.000 a 6.200 Wh/m²/dia, criando um potencial técnico solar para geração centralizada fotovoltaica de 307 GWp (uma medida da capacidade de um gás de efeito estufa de reter calor na atmosfera). Desse potencial total, aproximadamente 260 GWp estão localizados no estado da Bahia, destacando a relevância do estado no cenário de geração solar no Brasil. Além de sua localização privilegiada no semiárido, que garante alta disponibilidade de luz solar ao longo do ano, o estado tem se consolidado como um polo estratégico para projetos de energia solar devido à vasta extensão de áreas disponíveis para a instalação de usinas fotovoltaicas, somada ao apoio de políticas públicas que incentivam fontes renováveis de energia.

A Bahia destaca-se como o estado nordestino com maior potencial de geração solar fotovoltaica, devido à combinação de sua extensa área geográfica e condições climáticas privilegiadas. O regime estável de baixa nebulosidade ao longo do ano, aliado à alta incidência de irradiação solar na região semiárida, garante uma produtividade fotovoltaica mais consistente e com menor variação anual, consolidando o estado como um dos principais polos de energia solar no Brasil.

4.2 PROJETO PADRÃO DE RESIDÊNCIAS CONSUMIDOR CLASSE B1

Para a elaboração do projeto residencial amostral, foram adotadas as características típicas das residências entregues pelo Minha Casa Minha Vida, atualmente incorporado ao programa "Minha Casa, Minha Vida – Novo". Este programa visa ampliar o acesso à moradia digna para famílias com renda de até cinco salários mínimos, promovendo a inclusão social e contribuindo para a redução do déficit habitacional no Brasil. As medidas da planta adotadas, 8 x 5 metros, totalizando uma área de 40 m², refletem as dimensões médias de unidades habitacionais destinadas a famílias de baixa renda. Estas dimensões foram projetadas com base em critérios de funcionalidade, aproveitamento de espaço e custo-benefício, considerando a realidade de milhões de famílias brasileiras. Além de atender às necessidades habitacionais básicas, o projeto também busca garantir padrões mínimos de conforto e qualidade, respeitando normas de construção civil e diretrizes governamentais para habitações populares. Este modelo residencial foi concebido com foco na sustentabilidade e eficiência, utilizando materiais acessíveis e técnicas de construção que promovem a durabilidade e redução de custos operacionais a longo prazo.

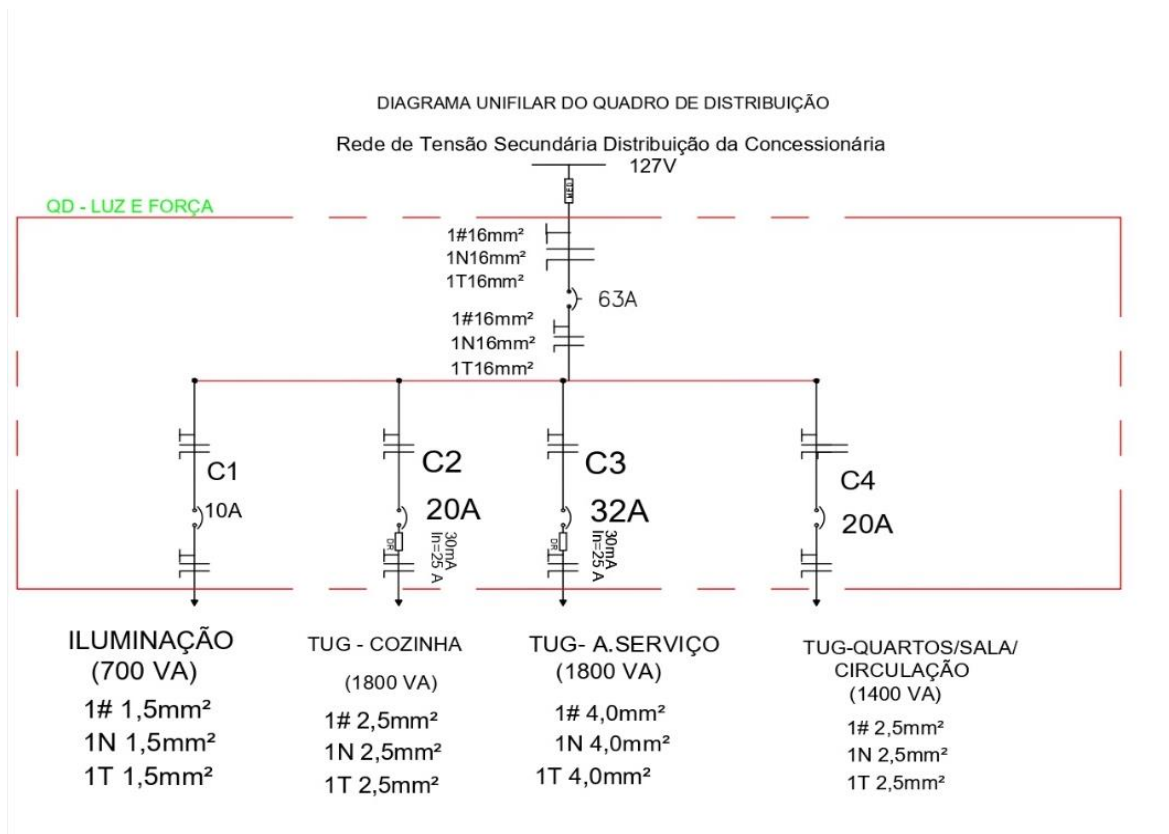
Planta – Residência padrão do programa Minha Casa Minha vida.



Fonte: Elaboração própria.

No desenvolvimento do projeto, foi decidido substituir o chuveiro elétrico por um sistema de aquecimento de água através de boiler, com o intuito de reduzir o consumo de energia elétrica e melhorar a eficiência do aquecimento. O boiler, que pode ser alimentado por fontes como energia solar ou gás, se apresenta como uma alternativa mais vantajosa em termos de custo-benefício e sustentabilidade quando comparado ao chuveiro elétrico, que exige maior consumo de energia para aquecer a água. Ao adotar o boiler, conseguimos proporcionar um aquecimento de água mais eficiente, reduzindo o impacto ambiental e gerando economia no longo prazo, ao mesmo tempo em que mantemos o conforto e a eficiência no sistema de fornecimento de água quente.

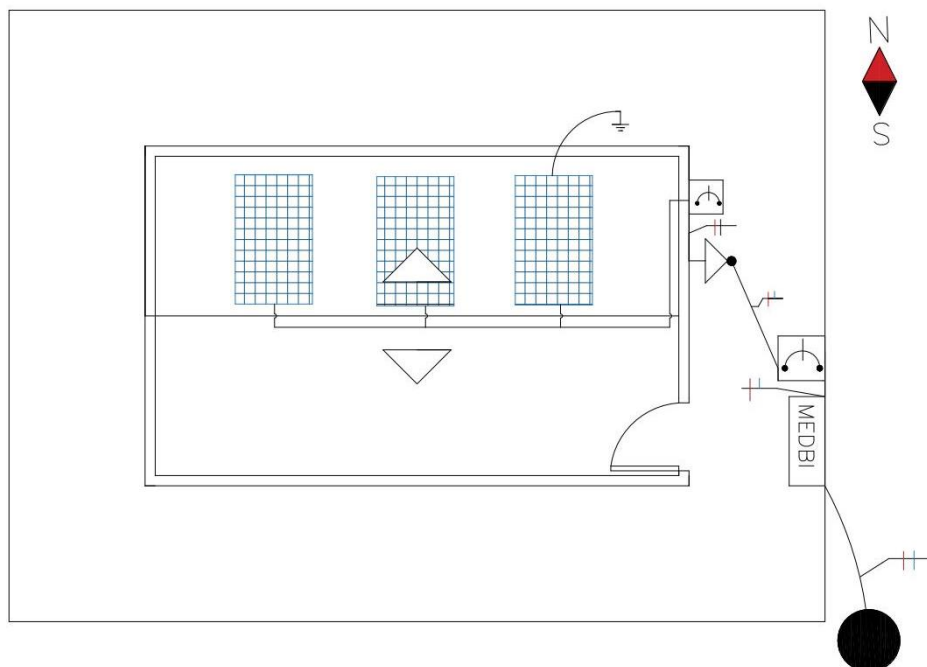
DIAGRMA 1 - DIAGRAMA DO QUADRO GERAL DE DISTRIBUIÇÃO.



Fonte: Elaboração própria.

Para o adequado dimensionamento do projeto fotovoltaico, a consideração da localização geográfica é fundamental, pois ela determina tanto a intensidade da radiação solar incidente sobre as placas quanto a melhor orientação e inclinação para otimizar a captação de energia. No hemisfério sul, como no caso da nossa instalação, as placas solares precisam ser inclinadas para o norte, uma vez que, devido à trajetória do sol, os raios solares incidem predominantemente nesta direção ao longo do dia. Essa inclinação assegura que as placas se alinhem de forma eficiente com a direção dos raios solares, maximizando a absorção de energia. De acordo com o Atlas Solar Global, a inclinação ideal para nossa localização geográfica é de 11 graus, um valor determinado para otimizar a eficiência do sistema fotovoltaico, ajustando-se ao ângulo de incidência solar durante o ano.

Diagrama 2 - usina fotovoltaica



Fonte: Elaboração própria.

Para fins ilustrativos, foi criada uma maquete que, embora não siga um padrão de escala proporcional, tem como principal objetivo explicar o funcionamento do sistema proposto de maneira clara e acessível. No projeto fotovoltaico, utilizamos duas placas solares que, juntas, geram uma tensão de 24 volts, alimentando quatro LEDs conectados em série. Para controlar a corrente que alimentaria os LEDs, incluímos um interruptor na maquete. Dessa forma, a apresentação do trabalho foi feita de maneira simples e didática, possibilitando a visualização do processo básico de conversão de energia solar em eletricidade e seu uso para alimentar os LEDs.

Figura 19 – Maquete do sistema fotovoltaico



Fonte: elaboração própria

4.3 PROJETO ARQUITETÔNICO

Visando um projeto elétrico completo, selecionamos a área de uma casa popular, mais especificamente uma casa média do programa Minha casa Minha Vida que possui uma área de 40 m² para casas. Desta forma foi feita uma planta com uma de 40 m², sendo 5m de largura e 8m de comprimento. O projeto foi feito a partir de um software de desenho, Auto Cad. Sua localização foi determinada no Subúrbio ferroviário de Salvador, Rua Henrique Marques, 23-E.

Figura 20 - imagem de satélite da rua henrique marques



Fonte: Google maps.

4.4 PROJETO ELÉTRICO

O projeto elétrico foi feito também no Autocad. Entrando para a parte elétrica é necessário seguir as recomendações da NBR-5410, norma técnica que estabelece as condições mínimas para o projeto, instalações de baixa tensão. O projeto elétrico tem como base a previsão de carga, cálculo feito a partir da área e perímetro da casa para dimensionamento da quantidade de pontos de luz e tomadas. Já o dimensionamento dos condutores, que também segue a NBR-5410, são seguidos por outros métodos, tais como, critério mínimo, condução de corrente e queda de tensão.

Tabela 4 - Previsão de Carga

CÔMODO	ÁREA	PERÍMETRO	ILUMINAÇÃO		TOMADAS	
			100VA	60VA	100VA	600VA
SALA	6,22m ²	10,14m	1	-	3	-
COZINHA	4,10m ²	8,10m	1	-	-	3
BANHEIRO	5,44m ²	9,44m	1	-	-	1
QUARTO 1	5,13m ²	9,20m	1	-	2	-
QUARTO 2	5,13m ²	9,20m	1	-	2	-
ÁREA DE SERV.	2,10m ²	7,10m	1	-	-	3
CIRCULAÇÃO	4,05m ²	16,49m	1	-	1	-

Fonte: Elaboração própria.

Em um projeto elétrico, após ser feita a previsão de carga, é conveniente que seja estabelecido a divisão dos circuitos. Essa divisão é feita seguindo os critérios da NBR5410, e visa limitar ocorrências de falhas, facilitar instalações e manutenções. Assim sendo, os critérios utilizados serão:

- a) Os circuitos de iluminação devem ser separados do de tomada, podem ser juntos desde que sua corrente não seja superior a 16 A;
- b) Circuitos independentes para TUE;
- c) Circuitos de TUG de cozinha, copas, áreas de serviços e locais análogos devem ser separados dos demais

Tabela 5 - Divisão de Circuitos

Nº DO CRT	DESCRIÇÃO	POTÊNCIA	TENSÃO	CORRENTE (IB)	CORRENTE NOMINAL DOS DISJUNTORES
1	ILUMINAÇÃO	700VA	127V	5,52A	10A -C
2	TUG(COZINHA)	1800VA	127V	14,2A	20A-C
3	TUG(ARE.SER.)	1800VA	127V	14,2A	20A- C
4	TUG	1400VA	127V	11,0A	

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, determinaremos o padrão de entrada na DIS-NOR-030.

Tabela 6 - Ramal de entrada

POTENCIA TOTAL	$(700+5000) \times 0,8 = 4.560 \text{ W}$
S. ILUMINAÇÃO	$100 \times 7 = 700 \text{ VA}$
RAMAL DE ENTRADA	16 mm

Fonte: Elaboração própria.

Para fins de análise prática, foi realizado o levantamento da demanda energética de uma residência padrão, construída conforme as diretrizes do programa habitacional Minha Casa Minha Vida, com área de 40 metros quadrados. O estudo contemplou a identificação dos principais equipamentos utilizados, suas respectivas potências e o tempo médio diário de operação, permitindo a determinação do consumo mensal da unidade. A fim de garantir maior

precisão no dimensionamento do sistema fotovoltaico, será adotado como referência um perfil de consumo residencial que mais se aproxime da carga levantada, correspondente a um consumo médio de 118 kWh mensais. Essa abordagem assegura um projeto otimizado, alinhado com a realidade de consumo do imóvel analisado, proporcionando maior eficiência na geração de energia e viabilidade técnica do sistema implantado.

Tabela 7- potência consumida

Equipamento	Potência consumida mensal			Potência em KWh
	Potência	Horas de consumo	Dias no mês	
Geladeira	-	24h	30	24
TV 24 polegadas	38 W	8h	30	9.12
Iluminação	336 W	4h	30	40.32
Ferro de passar roupa	550 w	1h	1	0,5
Liquidificador	550 w	1h	15	8.25
Tanquinho de lavar roupa	500w	3h	4	6
Ventilador	100 w	10h	30	30
Potencia consumida mensal total				118,2

Fonte: Elaboração própria.

4.5 PROJETO FOTOVOLTAICO PARA CONSUMIDORES B1 (PADRÃO CONCESSIONÁRIA).

Os consumidores classificados como B1, em conformidade com as normas da ANEEL, estão enquadrados na categoria de consumidores residenciais e comerciais de baixo consumo. De acordo com a Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL, esse grupo se refere a consumidores atendidos em baixa tensão, em áreas urbanas ou rurais, e cujas instalações não exigem um grande esforço técnico

Esse tipo de consumidor representa uma parcela significativa da população, composta principalmente por residências e estabelecimentos comerciais de pequeno porte. A classificação B1 aplica-se a consumidores que exigem uma carga elétrica modesta, com perfil de consumo relativamente estável ao longo do tempo, o que facilita a sua gestão

A ANEEL estabelece, por meio dessa classificação, tarifas que visam proporcionar um equilíbrio entre a oferta de energia e o custo para o consumidor. O processo de tarifação para os consumidores B1 busca atender a essas necessidades de forma justa, considerando as condições de acesso à rede elétrica e o impacto do seu consumo no sistema.

Para o projeto da usina fotovoltaica foram necessários os seguintes processos:

4.5.1 Elaboração Teórica

Para o dimensionamento da usina é necessárias as informações das residências do local a qual reside a moradia, portanto foi escolhido o Subúrbio ferroviário de Salvador, Rua Henrique Marques, 23-E, com localização geográfica de nascente do sol à frente da residência e poente ao fundo. Para ter como base uma residência comum dos consumidores classificados no padrão B1, foi traçado uma lista dos eletrodomésticos básicos, a fim de cálculos para dimensionamento da usina. Essa lista comporta os seguintes itens: Tv, 2 ventiladores, geladeiras, forno elétrico, liquidificador, computador e som.

4.5.2 Dimensionamento Da Usina Fotovoltaica.

Para o dimensionamento é necessário saber o consumo anual, que será determinado pela soma da potência consumida no período de 12 meses (1907 kWh), em seguida fizemos a determinação da média de consumo mensal, o qual é de 158,9 kWh. Convém lembrar, que potência dos painéis fotovoltaicos é especificada em watt-hora, por isso dividimos a potência de KWh para a Wh (multiplicando a mesma por 1000), com isso teremos condições de determinar o consumo de energia diário. Com esses dados e o índice solarimétrico determinamos a potência dos painéis que irão abastecer a instalação elétrica, e para esse sistema foi considerada a eficiência de todo o Projeto Fotovoltaico 83%. Por fim, para determinar o número de painéis dividimos a potência corrigida pela potência dos painéis.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado com base nos dados de irradiação do Atlas Solar Global, assegurando maior precisão na estimativa da geração de energia. O consumo médio diário foi calculado a partir da divisão do consumo mensal total, permitindo determinar a área necessária para os painéis solares por meio da relação entre a demanda energética e o índice solarimétrico local. Considerando a eficiência global do sistema em 83%, a potência nominal dos módulos foi corrigida para refletir as perdas inerentes ao processo de conversão energética. Por fim, o número de painéis foi obtido pela razão entre a potência de pico total necessária e a potência unitária dos módulos, garantindo um dimensionamento adequado para suprir a demanda energética prevista.

Tabela 8- Dados da usina fotovoltaica.

DIMENSIONAMENTO DA USINA FOTOVOLTAICA (Até 220KWh).	
Consumo anual	1907 KWh
Consumo médio por mês	158,9 KWh
Índice solarimétrico	5,09 kWh/m ² /dia
Consumo de energia diário (Wh)	5.2966 Wh
Potência total dos Painéis	1.040,60 W.
Potência total corrigida dos painéis	1.253,73 Wp.
Número de painéis	3
Inclinação das placas	11 graus

Fonte:elaboração própria

Tabela 9 – Dimensionamento da usina fotovoltaica

DIMENSIONAMENTO DA USINA FOTOVOLTAICA (Até 30KWh).	
Consumo anual	360 KWh
Consumo médio por mês	30 KWh
Índice solarimétrico	5,09 kWh/m ² /dia
Consumo de energia diário (Wh)	1000 Wh
Potência total dos Painéis	196,46 W.

Potência total corrigida dos painéis	236,7 Wp.
Número de painéis	1
Inclinação das placas	11 graus

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 - Faturamento mensal no período de 12 meses.

CONSUMO FATURADO				
	2023	2024	Dias faturados (2023)	Dias faturados (2024)
Janeiro		147 KWh	30	
Fevereiro		161 KWh	30	
Março	151 KWh	177 KWh	31	30
Abril	159 KWh		33	
Maiο	126 KWh		29	
Junho	134 KWh		31	
Julho	113 KWh		29	
Agosto	147 KWh		31	
Setembro	144 KWh		33	
Outubro	146 KWh		30	
Novembro	168 KWh		32	
Dezembro	140 KWh		29	

Fonte: Elaboração própria.

No dimensionamento da string fotovoltaica, adotou-se uma margem de segurança de 10% para a tensão de curto-circuito, assegurando a operação confiável e estável do sistema. Considerando a variação térmica característica de Salvador/BA, estimada em 5°C, a oscilação

da tensão foi calculada em 5,6%, obtida multiplicando-se a diferença entre 25°C e 5°C pelo coeficiente de variação de tensão de 0,28%, resultando em um acréscimo de 7,03 V sobre a tensão nominal de 125,55 V. A definição da potência do inversor foi realizada multiplicando-se a potência individual dos módulos pelo número total de painéis instalados, garantindo plena compatibilidade com a capacidade de geração do sistema. A escolha do equipamento levou em consideração não apenas os requisitos técnicos, mas também a viabilidade econômica, evitando custos excessivos sem comprometer a eficiência. O processo de dimensionamento foi conduzido em conformidade com os critérios técnicos estabelecidos na página 47, assegurando um projeto otimizado e alinhado às melhores práticas do setor.

Tabela 11 - Dados da placa solar da usina fotovoltaica para consumidores B1:

Dados da placa solar da usina fotovoltaica	
Icc	13,59 A
Vac (tensão de circuito aberto)	41,85V
coeficiente de temperatura	-0.28 %/°C
Tensão de curto-circuito na string	$41,85 \times 3 = 125,55 \text{ V}$
Vac da string	$125,55 \times 1.1 = 138,1 \text{ V}$
Varição de tensão	7,03 V
Nome da placa solar	Painel Solar Fotovoltaico 460W - Sunova SS-460-60-MDH

Fonte: Elaboração própria.

4.5.2.1 Dimensionamento do inversor

A escolha do inversor foi pautada na adequação entre sua potência nominal e a demanda energética do sistema, assegurando compatibilidade plena com a geração fotovoltaica. Para tal, sua potência foi determinada pelo produto entre a potência unitária dos módulos e o número total de painéis instalados, garantindo um dimensionamento preciso e eficiente. Além dos requisitos técnicos, a decisão também considerou a relação custo-benefício, evitando a oneração desnecessária do projeto sem comprometer seu desempenho. O processo de seleção seguiu

rigorosamente os critérios estabelecidos na página 47, assegurando conformidade com as diretrizes normativas e excelência na operação do sistema.

A determinação do inversor foi realizada com precisão, assegurando que sua potência nominal estivesse alinhada à necessidade energética do sistema e compatível com a geração fotovoltaica.

Para esse fim, a capacidade do equipamento foi obtida multiplicando-se a potência individual dos módulos pelo total de painéis instalados, garantindo um dimensionamento eficiente e adequado. Além dos parâmetros técnicos, a escolha do inversor também considerou a relação custo-benefício, evitando custos desnecessários sem comprometer o desempenho esperado.

Paralelamente, foi conduzida uma análise para diferentes perfis de consumidores, contemplando aqueles que recebem 65% de subsídio e os que possuem apenas 10%. Caso o projeto demonstre viabilidade em ambos os cenários, sua aplicação também se estenderá aos consumidores com subsídio de 40%, tornando-se financeiramente atrativo sem comprometer a viabilidade técnica. O dimensionamento do inversor levou em conta não apenas sua potência de entrada e saída, mas também a relação entre a energia fornecida e a demanda diária de cada consumidor, garantindo um equilíbrio operacional eficiente para o sistema fotovoltaico.

Tabela 12 - Dimensionamento o inversor de frequência.

DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR DE FREQUENCIA (consumo até 220kW)	
Potencia do inversor de frequencia	$460 \times 3 = 1380w$
Inversor escolhido	Inversor Solar Monofásico 1,5kW 220V 1 MPPT Growatt - MIC1500TL X.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13- Dimensionamento do inversor de frequência

DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR DE FREQUENCIA(consumo até 30kW)	
Potencia do inversor de frequencia	460 x 1 = 460 w
Inversor escolhido	Inversor Solar Monofásico 1,5kW 220V 1 MPPT Growatt - MIC1500TL X.

Fonte: Elaboração própria.

4.5.2.2. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO, MANOBRA E CABOS (CA E CC)

Os dispositivos elétricos, os mecanismos de manobra e cabos são essenciais para a segurança e eficiência das instalações elétricas. Portanto, os seus respectivos dimensionamentos são de muita importância para uma usina segura e funcional.

4.5.2.2.1 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CC E CA.

A escolha da seção de cabos XLPE foi fundamentada em sua flexibilidade, característica essencial para o correto funcionamento nas descidas da sala e da área de serviço, áreas que exigem um material que possibilite maior adaptabilidade. A queda de tensão máxima admissível foi limitada a 3%, o que assegura a eficiência e segurança do sistema. Para cabos de corrente contínua, a seção de 4,00 mm apresentou uma queda de tensão de 1,60%, enquanto para cabos de corrente alternada a queda foi de 1,14%, valores abaixo do limite estipulado. Embora a seção de 2,5 mm fosse ideal para o projeto, a seção de 4 mm foi escolhida por ser a mais disponível comercialmente, garantindo assim a viabilidade de fornecimento e instalação.

Tabela 14- Dados para o dimensionamento dos cabos CC.

DADOS (CC)	
MÉTODO DE REFERÊNCIA	B1
Temperatura ambiente	30
Corrente de projeto (Ib)	16,98 A
Distância da placa até o inversor	25m
Isolação	XLPE
Rc (resistência do cabo de 4 mm)	475
Vdc (tensão das placas)	250 V

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15- Dados para o dimensionamento dos cabos CA.

DADOS (CA)	
Método de referencia	B1
Temperatura ambiente	30
Corrente de projeto	7,1 A
Distância do inversor até o QGD	25m
Isolação	XLPE
Rc (resistência do cabo de 4 mm)	475 Ohm
Vac (tensão de saída do inversor)	127 V

Fonte: Elaboração própria.

Seguindo as recomendações da NBR-5410 dimensionados os cabos dos módulos fotovoltaicos:

tabela 16- Fórmulas utilizadas para o dimensionamento dos cabos.

FÓRMULAS PARA O DIMENSIONAMENTO	
Corrente de projeto (cabos CC)	$IB = ICC \text{ (módulos)} \times 1,25 = 13,59$ $\times 1,25 = 16,98$
Corrente de projeto (cabos CA)	$Ic = IB = Ic \text{ Máx}$
Critério da ampacidade	$Ic = Ib / f1$
Critério da queda de tensão	$V\% = [2 \times Ib \times l \times Rc / Vdc] \times 100$
Critério da queda de tensão	$V\% = [\sqrt{3} \times Ib \times L \times Rc / Vac] \times 100$

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 17- ESCOLHA DOS CABOS.

DIMENSIONAMENTO DOS CABOS FOTOVOLTAICOS		
	CABOS CC	CABOS CA
CRITÉRIO MÍNIMO	2,5 mm	2,5 mm
CRITÉRIO DA AMPACIDADE	1,00 mm	0,5 mm
CRITÉRIO DA QUEDA DE TENSÃO	4,00 mm	4,00 mm
SEÇÃO ESCOLHIDA	4,00 mm	4,00 mm

Fonte: Elaboração própria.

4.5.2.2.2 DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES CA E DC

A escolha da curva de atuação dos disjuntores foi pautada nas diretrizes estabelecidas pela norma IEC 60898, optando-se pela curva C, a qual se revela ideal para circuitos com cargas indutivas, como os equipamentos presentes na usina, incluindo inversores de frequência. Essa escolha visa garantir a proteção adequada, tendo em vista a natureza das cargas e a necessidade

de um desempenho seguro e eficiente. O dimensionamento dos disjuntores, conforme os parâmetros definidos pela NBR 5410, seguiu a fórmula $IN \geq IB \leq IZ$, onde IN corresponde à corrente de operação do disjuntor, IB à corrente nominal do projeto e IZ é a corrente máxima que circulará pelo condutor escolhido. Essa formulação assegura que os dispositivos de proteção estejam plenamente alinhados com os requisitos de segurança e eficiência exigidos para o funcionamento adequado da instalação elétrica.

Tabela 18- DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES

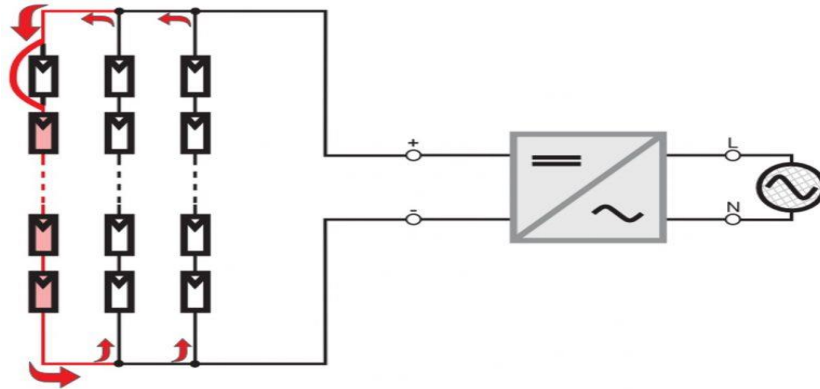
DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES			
	CORRENTE CONTÍNUA (DC)	CORRENTE ALTERNADA (AC)	CURVA DE ATAJÃO
CORRENTE DE PROJETO (IB)	16,98 A	7,1 A	C
CORRENTE DE CONDUÇÃO (IZ)	42A	42 A	C
CORRENTE NOMINAL (IN)	20 A	20 A	C

Fonte: Elaboração própria.

4.5.2.2.3 DIMENSIONAMENTOS DO FUSÍVEL

Segundo a NBR 16690, só se faz necessário a utilização de fusíveis em instalações com strings ligadas em paralelo, devido a corrente reversa. Nesse projeto, orientado pelos dados do fabricante, a corrente do fusível será de 25 A. Neste trabalho, não haverá perigo de corrente reversa, já que os módulos fotovoltaicos foram interligados em série para obter a tensão requerida. Convém salientar, que a “corrente reversa vai ocorrer em casos raros de sombreamento total de uma string (SPERTINO; AKILIMALI, 2009) ou, mais comumente, em caso de falhas que provocam curtos-circuitos nos módulos, reduzindo a tensão total de circuito aberto das strings [...]” (CANAL SOLAR, 2021).

Figura 21 - Representação da circulação de corrente nos módulos.



Fonte: Neosolar (2021)

4.5.2.2.4 DIMENSIONAMENTOS DOS DPS (DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS)

Tabela 19- DIMENSIONAMENTO DO DPS.

DIMENSIONAMENTO DO DPS ¹		
	CC	CA
Tensão máxima contínua (Uc) ²	≥ 500 VCC.	≥ 275 VCA
Classe ³	II	II

¹) A NBR 5419-2015 foi a norma utilizada para especificar o DPS para proteção contra surtos em sistemas fotovoltaicos

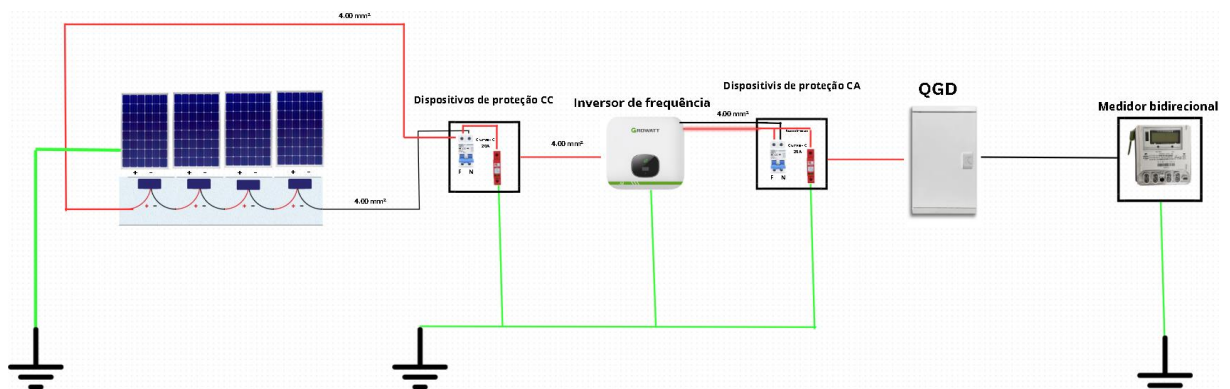
² A tensão máxima é 430 VCC, logo o DPS deve ter $U_c \geq 1,2$ vezes a tensão máxima (margem de segurança). Para redes monofásicas de 220 VCA, o DPS deve suportar tensões de pico (Tensão eficaz $\times \sqrt{2}$).

³ O DPS deve ser do tipo II (para sobretensões induzidas ou de menor intensidade).

Corrente de surto (In):	$I_n \geq 5 \text{ kA}$	$I_n \geq 5 \text{ kA}$.
Corrente de surto máxima (Imax):	$I_{max} \geq 10 \text{ kA}$.	$I_{max} \geq 10 \text{ kA}$.

Fonte: Elaboração própria.

DIAGRMA 3 - Diagrama multifilar da usina.



Fonte: Elaboração própria.

4.5.2.3 Aterramento

O aterramento mais recomendado para instalações residenciais é o TN-S. Utilizado quando a distância entre as cargas e a alimentação não é muito distante e para a usina fotovoltaica)

A figura abaixo, da NBR 16690, apresenta todos os elementos condutores expostos em uma instalação fotovoltaica, tanto do lado CC quanto do lado CA, devem ser ligados a um barramento comum de equipotencialização e esses devem ser aterrados. Os módulos que possuem furos apropriado para a função de aterramento devem ser identificados com o símbolo de aterramento e interligados ao aterramento. De acordo com a norma NBR 5410 (2009). A resistência de terra recomendada para usinas fotovoltaicas é de no máximo 10Ω . É de importância que todos os aterramentos locais estejam equipotencializados, ou seja, interligados.

5.0 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Inicialmente utilizou-se na construção desse trabalho, buscando alcançar os objetivos propostos, a caracterização da população alvo, ou seja, os consumidores e determinados pelo cadastro no programa do Governo, CadÚnico, o qual tem o intuito de contabilizar as famílias de baixa renda para fins de incluir as famílias a programas de assistência social e redistribuição de renda. Essa classificação foi determinante, pois o intuito da instalação da usina fotovoltaica é beneficiar essas famílias que sofrem com a vulnerabilidade social constante. Já o tipo de consumidor foi determinado a partir da análise de outro programa do Governo, a tarifa social energética. Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa. Tabela 17, abaixo apresentada. O consumo da residência em estudo é de 158,9 kWh, se enquadrando assim no desconto de 10% na conta energética, e também para o consumo de 30 KW e desconto de 65%, podendo assim comparar duas faixas de consumo e o tempo de retorno no investimento, tornando assim o estudo ainda mais viável a implantação a partir de subsídio governamental. O número médio de famílias que seriam beneficiadas por esse programa seria de aproximadamente de 4.279.433 famílias.

Tabela 20 - A tarifa social energética. Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa

Parcela de consumo mensal de energia elétrica	Desconto
de 0 a 30 kWh	65%
de 31 kWh a 100 kWh	40%
de 101 kWh a 220 kWh	10%
a partir de 221 kWh	0%

Fonte: ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA).

Paralelamente, a residência a qual foi feita o projeto arquitetônico e elétrico, foi de uma residência de 40m². Esse dado foi utilizado por ser a área média de casas do Programa Minha Casa Minha Vida, desta forma seria de uma maior facilidade identificar os possíveis

contemplados por esse projeto por seus dados estarem todos no sistema governamental. Tal residência é composta por 2 quartos, uma sala, cozinha, banheiro social e circulação. A potência total de consumo da casa foi determinada por projeto residencial a partir das normas NBR 5410 (2009).

O projeto da usina fotovoltaica conta com as placas solares, o inversor, os dispositivos de manobra e proteção, anteriormente determinados, além do medidor bidirecional. planta e diagramas. O projeto da usina fotovoltaica foi feito visando um sistema eficiente e também financeiramente viável para o Governo. Para avaliar o custo de investimento total, foi considerado que a residência estará com seu sistema de instalação elétrico pronto, portanto o custo de investimento é somente da usina fotovoltaica, que está em torno de R\$2.915, para o consumo de até 220kWh e R\$ 1.357, para o consumo de até 30kWh.

tabela 21- levantamento de custo para o investimento (consumo de até 30kwh)

LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA O INVESTIMENTO (Consumo de até 30KWh)		
DISPOSITIVO	VALOR (R\$)	Quantidade
Placas solares	R\$ 569	1
Inversor de frequência	R\$ 289,41	1
Proteção CC (DPS)	R\$ 78,99	1
Dispositivo de manobra (disjuntor CC)	R\$ 63,36	1
Cabeamento CC	R\$ 129,99	25m
Cabeamento CA	R\$ 129,99	25m
Proteção CA (DPS)	R\$ 86, 56	1
Dispositivo de manobra (disjuntor CA)	R\$ 10,90	1
Total	R\$1357,43	

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 22- LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA O INVESTIMENTO (Consumo de até 220 KWh)

LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA O INVESTIMENTO (Consumo de até 220KWh)		
DISPOSITIVO	VALOR (R\$)	Quantidade
Placas solares	R\$ 569	3
Inversor de frequência	R\$ 753,30	1
Proteção CC (DPS)	R\$ 78,99	1
Dispositivo de manobra (disjuntor CC)	R\$ 18,60	1
Cabeamento CC	R\$ 129,99	25m
Cabeamento CA	R\$ 129,99	25m
Proteção CA (DPS)	R\$ 86, 56	1
Dispositivo de manobra (disjuntor CA)	R\$ 10,90	1
Total	R\$ 2915,33	

Fonte: Elaboração própria.

Figura 22- Tarifa de energia



**Tarifas de Energia Elétrica
Grupo B**

Vigência: 22/04/2024 a 21/04/2025
Resolução Homologatória nº 3.320 de Abril de 2024

Descrição	TUSD (R\$/kWh)	TE (R\$/kWh)	Tarifa
B1 - Residencial			
Consumo Ativo	0,52757000	0,29313000	0,82070000
Consumo Reativo Excedente		0,29313000	0,29313000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	1,24592000	0,44734000	1,69326000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,79895000	0,27912000	1,07807000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,35197000	0,27912000	0,63109000
B1 - Residencial Baixa Renda			
Consumo de 0 a 30 kWh - 65% de desconto	0,16337650	0,10118500	0,26456150
Consumo de 31 a 100 kWh - 40% de desconto	0,28007400	0,17346000	0,45353400
Consumo de 101 a 220 kWh - 10% de desconto	0,42011100	0,26019000	0,68030100
Consumo acima de 220 kWh	0,46679000	0,28910000	0,75589000

Fonte: Neoenergia Coelba.

Economia do projeto e retorno para o governo é calculado em função do subsídio e do investimento feito pelo governo. Seguindo a tarifação de 2025, a bandeira em vigor é a verde. O feedback econômico é o tempo em que o investimento será pago ao governo pelo investimento:

Cálculos com o subsídio de 65%:

Conta = Potencia média consumida X tarifa

Conta = 30 X 0,26456150

Conta = R\$ 7,93

Para um sistema fotovoltaico, a neocoelba estabelece que seja cobrada uma taxa mínima no valor de R\$ 30,00 reais para instalações monofásicas. Supondo que esse seja o valor mínimo pago ao mês, teremos:

Valor da economia = Conta – conta mínima

Valor da economia = 7,93 - 30

Valor da economia = R\$ 22,07

A proposta consiste na implementação de um modelo de financiamento no qual o consumidor realiza pagamentos mensais fixos de R\$ 22,07 até a quitação integral do investimento inicial. O valor é calculado com base na amortização do custo total da implantação do sistema fotovoltaico, considerando a viabilidade econômica e a redução na conta de energia ao longo do período estipulado. Esse modelo permite que o consumidor usufrua dos benefícios da geração distribuída sem a necessidade de um desembolso imediato, viabilizando o acesso à energia renovável para consumidores de baixa renda.

Tempo de retorno do investimento = Investimento / Valor da economia

Tempo de retorno do investimento = 1357,43 / 22,07

Tempo de retorno do investimento = R\$ 61,5 meses ~ 6 anos.

Cálculos com o subsídio de 10%:

Conta = Potencia média consumida X tarifa

$$\text{Conta} = 220 \times 0,68030100$$

$$\text{Conta} = \text{R\$ } 149,6$$

Para um sistema fotovoltaico, a neocoelba estabelece que seja cobrada uma taxa mínima no valor de R\$ 30,00 reais para instalações monofásicas. Supondo que esse seja o valor mínimo pago ao mês, teremos:

$$\text{Valor da economia} = \text{Conta} - \text{conta mínima}$$

$$\text{Valor da economia} = 149 - 30$$

$$\text{Valor da economia} = \text{R\$ } 119,6$$

A proposta consiste na implementação de um modelo de financiamento no qual o consumidor realiza pagamentos mensais fixos de R\$ 119,60 até a quitação integral do investimento inicial. O valor é calculado com base na amortização do custo total da implantação do sistema fotovoltaico, considerando a viabilidade econômica e a redução na conta de energia ao longo do período estipulado. Esse modelo permite que o consumidor usufrua dos benefícios da geração distribuída sem a necessidade de um desembolso imediato, viabilizando o acesso à energia renovável para consumidores de baixa renda.

$$\text{Tempo de retorno do investimento} = \text{Investimento} / \text{Valor da economia}$$

$$\text{Tempo de retorno do investimento} = 2915,33 / 119,6$$

$$\text{Tempo de retorno do investimento} = \text{R\$ } 24,4 \text{ meses} \sim 2 \text{ anos e } 4 \text{ meses.}$$

Desta forma, os resultados demonstram que a energia fotovoltaica não apenas acaba com os subsídios governamentais, mas também oferece uma solução sustentável para famílias em situação de vulnerabilidade social. Além disso, o investimento inicial é rapidamente recuperado, garantindo um impacto positivo a longo prazo.

6.0 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O FORNECIMENTO DE USINAS FOTOVOLTAICAS PARA OS CONSUMIDORES DE CLASSE B1.

Primeiramente, é importante salientar que a falta de acesso à energia elétrica ainda é um agravante no nosso país. De acordo com o IBGE, cerca de 1 milhão de cidadãos brasileiros não

possuem acesso à energia elétrica, desencadeando na utilização de combustíveis fósseis altamente danosos ao meio ambiente e à saúde humana. Em regiões remotas, onde o acesso à água potável é limitado, a dependência de geradores movidos a combustíveis fósseis para a captação e o tratamento de água se torna inevitável. Essa prática não apenas aumenta a emissão de poluentes, mas também intensifica a vulnerabilidade dessas populações, criando um ciclo prejudicial que precisa ser rompido com soluções mais sustentáveis e acessíveis.

As condições e necessidades apontadas recaem de maneira desproporcional sobre as parcelas mais vulneráveis da sociedade. Dados indicam que aproximadamente 46,5% da população baiana vive com um rendimento domiciliar per capita inferior a R\$475 por mês. Essa realidade evidencia que o orçamento dessas famílias é insuficiente para cobrir despesas essenciais, como alimentação, água potável, energia elétrica e gás. Nesse contexto, os consumidores classificados como B1, representando residências de baixa renda, enfrentam desafios ainda maiores. Limitados por sua condição econômica, esses consumidores frequentemente recorrem a alternativas que, embora mais acessíveis a curto prazo, podem trazer sérios impactos ambientais e comprometer a sustentabilidade no longo prazo.

É de suma importância a implementação da energia fotovoltaica para os consumidores da classe B1, pois essa fonte energética traz uma maior segurança no contexto hodierno. Esses consumidores vivem em uma constante vulnerabilidade, tanto social quanto econômica, portanto, com a energia solar implementada haverá uma maior segurança. A energia fotovoltaica irá trazer juntamente com seu funcionamento, uma energia de qualidade para um grupo social, que em sua maioria não possui condição monetária viável para custear a energia fornecida pela concessionária, fonte essa, como citado no estudo, é a energia provinda das hidrelétricas.

6.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise das despesas com subsídios governamentais e dos custos do projeto fotovoltaico mostra que a implementação de sistemas solares é mais econômica e sustentável. O projeto da usina para consumidores de baixa renda torna-se viável, não apenas pelo retorno do investimento, mas também por um viés social, que contribuirá para a segurança energética da população metropolitana de baixa renda de Salvador.

Para a construção dessa usina, será necessária a implantação de três painéis solares monocristalinos, disjuntores CA e CC, inversores de frequência, um sistema de aterramento, DPS e cabos. Todos os equipamentos foram dimensionados visando o cumprimento das normas técnicas, além de garantir a viabilidade do projeto para o custeio governamental. Após estudo e avaliação, determinou-se que a usina composta por painéis solares monocristalinos é a opção mais adequada, pois, além do longo tempo de vida útil, que varia de aproximadamente 25 a 40 anos, apresenta a melhor eficiência energética em comparação com outros tipos de placas disponíveis no mercado.

Para fins de cálculo, foi escolhida a placa solar monocristalina da Sunova Solar, com eficiência energética de 21,3%. Essa escolha foi feita para que o sistema alcance uma eficiência de 83%, maximizando o desempenho da usina. Em relação à viabilidade do investimento, o governo teria um retorno desse valor em um prazo máximo de cinco anos, período em que o cidadão contemplado quitará o investimento por meio da taxa mínima cobrada pela concessionária.

O estudo das tecnologias necessárias foi fundamental para determinação dos equipamentos presentes na usina fotovoltaica. O estudo é de suma importância para que possamos compreender os seus princípios de funcionamento, tipologias, benefícios e eficiência.

Os dados sobre os consumidores são essenciais para que haja uma classificação e determinação dos contemplados com o projeto proposto, a fim de que essa população alvo seja beneficiada com a tecnologia estudada. Os classificados para esse projeto formam os consumidores baixa renda com cadastro no CadÚnico, programa do Governo Federal, além dos

contemplados com a Tarifa CDE - Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa.

A determinação das tecnologias que foram utilizadas foi baseada em uma instalação elétrica residencial existente, portanto os equipamentos presentes nos custos para o financiamento são apenas os equipamentos da usina fotovoltaica.

A usina fotovoltaica conta com placas solares monocristalinas, inversor de frequência, conectores, dispositivos de proteção e manobra, aterramento. Todos os equipamentos necessários foram estudados e determinados a partir da sua eficiência e preço, a fim de que a usina seja eficiente e viável.

A elaboração da usina fotovoltaica é o ponto determinante para a implantação dessa tecnologia para consumidores baixa renda, portanto seu dimensionamento foi feito conforme as características dessas famílias. O dimensionamento e determinação dessa usina mostrou a viabilidade da implantação, de forma que o custeio não se mostrou superfaturado, além da usina fotovoltaica se tornar uma segurança para os consumidores baixa renda.

O projeto é viável pois seu custo de implementação é muito inferior ao valor economizado durante seus anos de funcionamento, além de reduzir a degradação ambiental e proporcionar energia para os consumidores baixa renda.

7.0 CONCLUSÃO

O resultado desse estudo demonstra que a energia fotovoltaica é uma fonte energética viável para a instalação para uma população baixa renda da região metropolitana. Além da instalação para essa população ser um meio de garantir uma energia de qualidade, com a realização desse projeto a rede da concessionária ficará menos sobrecarregada, pois com a instalação da usina fotovoltaica a demanda energética será menor.

A energia fotovoltaica é uma fonte promissora para o futuro já que sua instalação não causa degradação direta ao meio ambiente, é uma fonte limpa de energia, contribuindo para um futuro mais sustentável. Ao ser mais utilizada, a energia solar será uma substituta para as hidrelétricas, uma matriz energética altamente degradante para o meio ambiente, além de causar problemas sociológicos.

Uma usina de energia silenciosa, com baixa manutenção, fácil instalação, necessidade de pouco espaço. A energia solar se torna cada vez mais viável por esses e outros motivos, como o seu custo. Inicialmente de fato é necessário um investimento, entretanto como discutido no estudo, a sua economia ao decorrer dos anos pós instalação da usina é notória. O retorno do investimento feito inicialmente, no caso feito pela concessionária, é dado pela eficiência do projeto e o tempo de vida útil dos painéis, o qual é responsável por suprir o abastecimento de uma residência.

O impacto social também é relevante, pois a democratização do acesso à energia solar possibilita maior segurança energética para famílias em situação de vulnerabilidade econômica. Esse projeto promove inclusão social, reduzindo a dependência de subsídios governamentais e proporcionando uma alternativa economicamente sustentável.

Esse estudo não apenas reforça a viabilidade técnica e econômica da energia fotovoltaica para consumidores de baixa renda, mas também evidencia a importância de políticas públicas voltadas para a ampliação dessa tecnologia. A adoção de usinas solares pode transformar a realidade de milhões de famílias, promovendo um futuro mais sustentável e acessível para todos.

Esse estudo foi essencial para o aprimoramento dos nossos conhecimentos nas matérias técnicas do curso de eletrotécnica, tais como, energia renováveis, projetos elétricos, desenho técnico, instalações elétricas, comandos elétricos, eletrotécnica 1 e 2. Ademais, foram ampliadas as perspectivas sociológicas em relação ao Estado da Bahia.

Em conclusão, esse estudo explorou a viabilidade do uso de energia fotovoltaica para consumidores de baixa renda na região metropolitana de Salvador, destacando suas implicações sociais, econômicas e tecnológicas. Ao analisar as características dos consumidores, tecnologias utilizadas para a implementação e fazer análise dos custos, foi possível compreender de maneira aprofundada a complexidade desse projeto. Além disso, o projeto se tornou uma solução para uma sociedade que vive em constante vulnerabilidade, garantindo o acesso da tecnologia de forma igualitária. Por fim, esse estudo contribuiu para melhor compreensão sobre a implementação de energia fotovoltaica para consumidores de baixa renda.

REFERÊNCIAS

Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos / coordenador Chigueru Tiba... et al. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.: il., tab., mapas.

Boiler. Disponível em: https://xtubos.net.br/produtos/boiler-aco-inox-304-aquecedor-solar-eletrico-200-a-1020-litros/?pf=gs&variant=241466279&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAst67BhCEARIsAKKdWOmy5J9L7xO8Rw5AOIvR-9FpBCT-6ZQtK7OBvaup3BuWEr1AF2n2HvsaAv-kEALw_wcB. Acesso em: 6 jan. 2025.

Conector mc4. Disponível em: <https://energeasysolar.com.br/produto/conector-mc4-macho-femea-completo-canadian/>. Acesso em: 28 dez. 2024.

Conector MC4y (par) Painel Solar Original - Staubli. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/conector-mc4y-par-painel-solar-original-staubli-79614>. Acesso em: 28 dez. 2024.

Conheça o programa Minha Casa, Minha Vida. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/noticias-1/conheca-o-programa-minha-casa-minha-vida>.

CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>.

Diferença micro inversor e inversor string. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor/diferenca-micro-inversor-inversor-string>. Acesso em: 26 dez. 2024b.

Dicas. Disponível em: <https://www.lorenzetti.com.br/dicas/duvidas-frequentes/duchas-e-chuveiros-eletricos>. Acesso em: 6 jan. 2025.

Energia, S. Entenda Tudo Sobre A Importância Do Aterramento Do Sistema Fotovoltaico. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/importancia-aterramento-sistema-fotovoltaico/>.

Franchi, C. Inversores de Frequência Teoria e aplicações. Editora Érica Lida, 2013.

HUANGANNIE. Como escolho o inversor solar do tamanho certo para o meu sistema solar? Disponível em: <https://pt.shieldchannel.com/blogs/portable-power-station/size-solar-inverter>. Acesso em: 10 dez. 2024.

Inversor Off-Grid (com baterias) - Energia Solar - Solar Brasil. Disponível em: <http://www.solarbrasil.com.br/produtos/inversores-off-grid/>. Acesso em: 10 dez. 2024.

Inversor Off-Grid IP2000W - Eperver - Qualidade e Garantia. Disponível em: <https://loja.opussolar.com.br/produto/inversor-off-grid-ip2000w-epever/>. Acesso em: 26 dez. 2024.

INTELBRAS. Aplicações da energia solar fotovoltaica. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/aplicacoes-da-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 27 dez. 2024.

Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>.

Mercado Livre Brasil. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/>.

Moodle USP: e-Disciplinas. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5810747/mod_resource/content/1/NBR5410%20-%20Instala%C3%A7%C3%B5es%20el%C3%A9tricas%20de%20baixa%20tens%C3%A3o.pdf.

Minha Casa, Minha Vida garante aquecimento solar para 896 mil pessoas em todo o Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/minha-casa-minha-vida-garante-aquecimento-solar-para-896-mil-pessoas-em-todo-o-brasil>. Acesso em: 9 dez. 2024.

Minha Casa, Minha Vida garante aquecimento solar para 896 mil pessoas em todo o Brasil. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/minha-casa-minha-vida-garante-aquecimento-solar-para-896-mil-pessoas-em-todo-o-brasil>. Acesso em: 9 dez. 2024.

MINHA CASA SOLAR. Inversor de tensão onda modificada 500W 12V/220V PW11-6 Hayonik. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/inversor-de-tensao-onda-modificada-500w-12v-220v-pw11-6-hayonik-79834>. Acesso em: 18 jan. 2025.

Neoenergia coelba. conta mínima. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/web/bahia/sua-casa/conta-minima>. Acesso em: 18 jan. 2025.

NEOENERGIA COELBA. Tarifas de energia elétrica – Grupo B – abril de 2024. Resolução Homologatória nº 3.320. Vigência: 22 abr. 2024 a 21 abr. 2025. Disponível em: [arquivo pessoal]. Acesso em: 18 jan. 2025.

O que é DPS e como é usado nos sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/o-que-e-dps-e-como-e-usado-nos-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 28 dez. 2024b.

O Que é e Como Funciona o Aquecedor Solar de Água Soletrol. Disponível em: <https://www.soletrol.com.br/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>.

PALOMA GUITARRARA. Energia hidrelétrica. Disponível em: https://brasilecola.uol.com.br/amp/geografia/energia-hidreletrica.htm#amp_tf=De%20%251%24s&aoh=17160866517906&referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com. Acesso em: 10 dez. 2024.

Painel Solar 280W Policristalino Resun- RS6C-280P. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/painel-solar-280w-policristalino-resun-rs6c-280p-79947>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PINHO, J.; GALDINO, M. Manual de Engenharia para Sistemas fotovoltaicos. CEPEL-CRESESB, 2014.

Portal Solar - Seu site solar - Tudo sobre energia solar fotovoltaica. Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br>.

Radware Bot Manager Captcha. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/inversor-solar-off-grid-epever-24v-para-220v-3000w-onda-senoidal-pura-60hz/p/ee6ag21577/pi/invo/>. Acesso em: 11 jan. 2025.

Relatório de Informações - RI v.4. Disponível em: <https://aplicacoes.mds.gov.br/sagi/ri/relatorios/cidadania/?codigo=29&aM=>. Acesso em: 10 dez. 2024.

SOLARGIS. Global Solar Atlas. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/detail?s=-12.849583,-38.464056&m=site&c=-12.849583,-38.464056,11&pv=small,0,11,1>. Acesso em: 6 jan. 2025.

SOLAR, E. Dimensionamento de Disjuntores DC em Sistemas Fotovoltaicos: Guia Prático - Energia Solar - Cursos. Disponível em: <https://energiasolarcursos.com.br/dimensionamento-de-disjuntores-dc-em-sistemas-fotovoltaicos-guia-pratico/>. Acesso em: 9 dez. 2024.

Tarifa social. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/tarifa-social>.

Tarifa social para consumidores baixa renda. Disponível em: <https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2020/04/09/tarifa-social-clientes-cadastrados-como-baixa-renda-e-consumo-mensal-de-ate-220-kwh-serao-isentos-na-bahia.ghhtml>. Acesso em: 9 dez. 2024.

Tipos de Placa Solar | Neosolar. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/placa-solar-fotovoltaica/tipos>. Acesso em: 10 OUT. 2024.

Tipos de painéis solares: conheça os 8 principais. Disponível em: <https://energiasirius.com/tipos-de-paineis-solares/>.

Vantagens e desvantagens do painel solar de filme fino. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-do-painel-solar-de-filme-fino>.

VILLALVA, M. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações; Érica, 2015.

WOO DIGITAL. Disponível em: https://www.basesolarenergia.com.br/noticia/173/paineis_solares_de_seleneto_de_cobre_indio_e_galio_cis_cigs.html. Acesso em: 10 dez. 2024.

Weg.net. Homepage. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/>.

11. Apêndices;

Anexos:

ANEXO I – Cálculos do dimensionamento dos condutores da planta

DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES, ELETRODUTO, DISJUNTORES E DRS
ILUMINAÇÃO

CONDUTORES

SEÇÃO MÍNIMA: $1,5\text{mm}^2$

AMPACIDADE: $0,5\text{mm}^2$

QUEDA DE TENSÃO: 1mm^2

Portanto, a seção a ser usada é baseada no critério mínimo de $1,5\text{mm}^2$

DISJUNTOR

IB=5,52

IZ= 17,5

Portanto, o disjuntor será de 10A.

TUG COZINHA

CONDUTORES

SEÇÃO MÍNIMA: $2,5\text{mm}^2$

AMPACIDADE: $2,5\text{mm}^2$

QUEDA DE TENSÃO: $1,5\text{mm}^2$

Portanto, a seção a ser usada é baseada no critério mínimo de $2,5\text{mm}^2$

DISJUNTOR

IB=14,2

IZ= 24

Portanto, o disjuntor será de 24A.

DR

Seguindo a recomendação da NBR 5410, áreas molhadas ou externas devem ter um DR portanto o DR será de 300mA.

TUG ÁREA DE SERVIÇO

CONDUTORES

SEÇÃO MÍNIMA: $2,5\text{mm}^2$

AMPACIDADE: 2.5mm^2

QUEDA DE TENSÃO: 4mm^2

Portanto, a seção a ser usada é baseada no critério mínimo de 4mm^2

DISJUNTOR

IB=14,2

IZ= 32

Portanto, o disjuntor será de 32A.

DR

Seguindo a recomendação da NBR 5410, áreas molhadas ou externas devem ter um DR portanto o DR será de 300mA.

TUG.

CONDUTORES

SEÇÃO MÍNIMA: 2,5mm²

AMPACIDADE: 1mm²

QUEDA DE TENSÃO: 1,5mm²

Portanto, a seção a ser usada é baseada no critério mínimo de 2,5mm²

DISJUNTOR

IB=11

IZ=24

Portanto, o disjuntor será de 20A.

DISJUNTOR GERAL

Para selecionar o disjuntor geral é necessário seguir a norma de Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição a Edificações Individuais (DIS-NOR-030). Por se tratar de um padrão da classe B1 o disjuntor será de 63A.

ELETRODUTO

Para dimensionar o eletroduto é necessário que os condutores não ocupem mais que 40% do diâmetro interno. Ao dimensionar os circuitos que saem do quadro a ocupação não ultrapassar 85mm² da área, então o eletroduto a ser usado é de 20mm de PVC rígido.

ANEXO II – Cálculos do dimensionamento da usina fotovoltaica.

1 - Determinação do número de Módulos Fotovoltaicos.

O dimensionamento será feito para os consumidores que consomem até 220 KWh e para os que consomem 30 KWh. Vale ressaltar, que o dimensionamento para os consumidores de 158,9 KWh constitui uma residência real.

-Consumo anual obtido a partir dos valores de consumo (kWh) dos últimos 12 meses:

Soma = 1907 KWh

- Determine a média de consumo por mês:

Potência média = consumo anual / 12

Potência média = 1907 / 12

Potência média = 158,9 KWh

- Transformação da potência Média em KWh para Wh, os painéis fotovoltaicos são especificados desta forma.

158,9 kWh x 1000 = 158.900 Wh

Portanto, 159,4 kWh é equivalente a 159.400 Wh.

Para os consumidores de até 30 KWh:

$$30 \text{ kWh} \times 1000 = 30.000 \text{ Wh}$$

- Determinar o consumo de energia diário (Wh)

$$\text{Consumo de energia diária} = 158.900/30$$

$$\text{Consumo de energia diária} = 5.2966 \text{ Wh}$$

Para os consumidores de até 30 KWh:

$$\text{Consumo de energia diária} = 30.000/30$$

$$\text{Consumo de energia diária} = 1000 \text{ Wh}$$

- Determine a Potência total dos Painéis.

Dados:

- Consumo diário: 5.2966 Wh/dia

- Índice solarimétrico: 5,09 kWh/m²/dia

Cálculo:

$$S(\text{painéis}) = \text{Consumo diário (Wh/dia)} / \text{Índice solarimétrico (kWh/m}^2\text{/dia)}$$

$$S(\text{painéis}) = 5.2966 \text{ Wh/dia} / 5,09 \text{ kWh/m}^2\text{/dia}$$

$$S(\text{painéis}) = 1.040,60 \text{ W}$$

A potência total dos painéis necessários é de 1.040,60 W.

Para os consumidores de até 30 KWh:

$$S(\text{painéis}) = \text{Consumo diário (Wh/dia)} / \text{Índice solarimétrico (kWh/m}^2\text{/dia)}$$

$$S(\text{painéis}) = 1000 / 5,09$$

$$S(\text{painéis}) = 196,46 \text{ W}$$

A potência total dos painéis necessários é de 196,46 W.

- Considerando a eficiência do sistema em 83%, ajuste o valor calculado anteriormente.

Dados:

- Potência total dos painéis calculada anteriormente: 1.040,60 W

- Eficiência do sistema: 83% (0,83)

- Cálculo da potência corrigida:

$$\text{Potência corrigida} = \text{Potência (W)} / \text{Eficiência do sistema}$$

$$\text{Potência corrigida} = 1.040,60 \text{ W} / 0,83$$

$$\text{Potência corrigida} = 1.253,73 \text{ Wp}$$

A potência total dos painéis corrigidos é de 1.253,73 Wp.

Para os consumidores de até 30 KWh:

$$\text{Potência corrigida} = \text{Potência (W)} / \text{Eficiência do sistema}$$

$$\text{Potência corrigida} = 196,46 \text{ W} / 0,83$$

$$\text{Potência corrigida} = 236,7 \text{ Wp}$$

- Modelo de painel: Painel Solar Fotovoltaico 460W - Sunova SS-460-60-MDH

- Número total de painéis fotovoltaicos necessários;

$$\text{N}^\circ \text{ de painéis} = 1253,73/460$$

Nº de painéis = 3

Para os consumidores de até 30 KWh:

Nº de painéis = $236,7 / 460$

Nº de painéis = 1

2. É necessário que seja feita uma verificação técnica para determinar se as placas podem ser ligadas em série, vejamos a seguinte análise a partir dos cálculos abaixo:

Dados da placa:

ICC = 13,59A

VAC (tensão de circuito aberto) = 41,85V

coeficiente de temperatura: -0.28 %/°C

Tensão de curto-circuito na string = $41,85 \times 3 = 125,55 \text{ V}$

considerando 10% de segurança:

VAC string = $125,55 \times 1.1 = 138,1 \text{ V}$

Em Salvador/ Ba a temperatura que incidirá sobre os módulos fotovoltaicos nunca será menor que 5 graus celsius. Assim, a variação de tensão será:

Variação de tensão (%) = $(25-5) \times 0,28\% = 5,6\%$

Variação de tensão = $5,6\% \times 125,55 = 7,03$

variação total = 132,58 V

Assim, como a variação de tensão é menor que a tensão de circuito aberto da String os módulos poderão ser ligados em série.

3. Inversor

$P(\text{inversor}) = \text{Potência dos módulos} \times \text{N}^\circ \text{ de painéis}$

$P(\text{inversor}) = 460 \times 3$

$P(\text{inversor}) = 1380\text{w}$

Inversor escolhido: Inversor Solar Monofásico 1,5kW 220V 1 MPPT Growatt - MIC1500TL X

4. Dimensionamento dos cabos:

Dados da placa:

- Cabos

segundo as recomendações da NBR-5410 dimensionados os cabos dos módulos fotovoltaicos até o inversor:

Método de referência: B1

Temperatura: 30 - (XLPE)

Fator de temperatura 1.00

$I_b = I_{cc} \text{ dos módulos} = 13,59 \text{ A}$

Distância das placas até o inversor: 25 m

SEÇÃO ESCOLHIDA: 4.0 mm

CABOS CC:

$I_{SC, STC} = i_{cc} \text{ dos módulos}$

$I_{cabos} > I_{SC, STC} \times 1,25$

$I_{cabos} > 13,59 \times 1,25$

$I_{cabos} > 16,98$

Critério mínimo: 2,5 mm

Critério da ampacidade:

$I_b = 16,98 \rightarrow$ seção 1,0 mm

Porém comercialmente a seção encontrável é a de 4,0 mm.

Critério da queda de tensão:

Nesse caso a queda de tensão máxima admissível é de até 3%.

$$V\% = [2 \times I_b \times l \times R_c / V_{dc}] \times 100$$

$$V\% = [2 \times 16,98 \times 25 \times 0,00475 / 250] \times 100$$

$$V\% = 1,60\%$$

Portanto a seção será de 4,0 mm.

Cabos CA:

Isolação XLPE, temperatura ambiente de 30 graus.

critério mínimo: 2,5 mm

critério da ampacidade:

$I_b = I_{cmax} = 7,1 \text{ A} \rightarrow$ seção = 0,5 mm

Porém comercialmente a seção encontrável é a de 4,0 mm.

Critério da queda de tensão:

Nesse caso a queda de tensão máxima admissível é de até 3%. Então a será feito o cálculo para a verificação da queda de tensão admissível com os seguintes dados:

$$L = 25 \text{ m}$$

$$I = i_{\text{max inver}} = 7,1 \text{ A}$$

$$R_c = \text{resistência do cabo de 4 mm} = 0,00475$$

VAC = tensão de saída do inversor = 127

$$V\% = [\sqrt{3} \times I_b \times L \times R_c / V_{ac}] \times 100$$

$$V\% = [\sqrt{3} \times 7,1 \times 25 \times 0,00475 / 127] \times 100$$

$$V\% = 1,14 \%$$

Portanto a seção será de 4,0 mm.

5. Dimensionamento dos Disjuntores:

IB- corrente de saída do inversor

IZ - corrente de condução dos cabos

O projeto terá 2 disjuntores, o de DC e o de AC;

DC:

13,56 <IN> 42A ;

IN = 20A , curva C.

AC:

IB (IN DE SAÍDA DO INVERSOR) < IN> IZ ;

7.1 <IN> 42A ;

IN = 20A, curva C