



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA
PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

CICERO LUSDÊNIO SOUZA FERREIRA

**MINI USINA FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO NA ELABORAÇÃO
DE UM PROJETO PARA O AUTOCONSUMO DOS SETORES PÚBLICOS
MUNICIPAIS NA CIDADE DE BARRO – CE.**

Cajazeiras-PB
2023

CICERO LUSDÊNIO SOUZA FERREIRA

**MINI USINA FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO NA ELABORAÇÃO DE
UM PROJETO PARA O AUTOCONSUMO DOS SETORES PÚBLICOS
MUNICIPAIS NA CIDADE DE BARRO - CE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Me. José Tavares de Luna Neto e Coorientação da Prof.^a Ma. Taciana Araújo da Silva.

Cajazeiras-PB
2023

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

F383m	<p>Ferreira, Cicero LUSDÊNIO Souza.</p> <p>Mini usina fotovoltaica : um estudo de caso na elaboração de um projeto para o autoconsumo dos setores públicos municipais na cidade de Barro – CE. / Cicero LUSDÊNIO Souza Ferreira. – 2023.</p> <p>50f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.</p> <p>Orientador(a): Prof. Me. José TAVARES de Luna Neto. Coorientador(a): Prof^a. Me. Taciana Araújo da Silva.</p> <p>1. Usina fotovoltaica. 2. Energia solar. 3. Energia renovável. 4. Matriz energética. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p>
-------	--

CICEOR LUSDÊNIO SOUZA FERREIRA

**MINI USINA FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO NA ELABORAÇÃO DE
UM PROJETO PARA O AUTOCONSUMO DOS SETORES PÚBLICOS
MUNICIPAIS DA CIDADE DE BARRO - CE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 13 de Fevereiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 JOSE TAVARES DE LUNA NETO
Data: 10/03/2023 00:00:29-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

José Tavares de Luna Neto – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 TACIANA ARAUJO DA SILVA
Data: 10/03/2023 21:48:53-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Taciana Araújo da Silva
Coorientador

Documento assinado digitalmente
 FABIO ARAUJO DE LIMA
Data: 10/03/2023 09:36:50-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Fábio Araújo de Lima – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 TOBIAS TAVARES DE LUNA
Data: 10/03/2023 20:55:58-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Tobias Tavares de Luna
Examinador 2

Dedico este trabalho a minha esposa em especial, pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis e todas as outras pessoas que contribuíram de forma direta e indireta.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, saúde, sabedoria e todos os livramentos que tive no decorrer dessa jornada.

A mim mesmo, por não desistir.

Ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB), *Campus* Cajazeiras pela oportunidade de desfrutar de um ambiente acolhedor e de um quadro de professores exemplares.

Aos professores do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, em especial aos professores Doval Martins, José Ivelton, Francisco Lopes, Gastão Coelho, por todos os ensinamentos, apoio e dedicação.

Ao meu orientador José Tavares de Luna Neto, pelos ensinamentos, orientações, conselhos, e boas conversas.

A minha coorientadora e esposa Taciana Araújo da Silva, pela insistência em acreditar quando eu mesmo já não acreditava, por tanto empenho em prol do meu bem-estar físico e emocional. Gratidão pelas conversas, orientações e até mesmo pelas broncas.

A minha segunda mãe, minha sogra Dona Fátima por todo apoio, conversas, conselhos.

Ao irmão que o mundo me deu, Douglas Araújo, tomou de conta do meu lava rápido.

Aos meus pais Luiz Sobreira e Marta Maria por sempre acreditar na minha vitória.

Aos meus irmãos Mayara Magda e Erico Luclécio, pelas conversas e apoio.

Aos meus sobrinhos que tanto amo, Alam Pietro e Lucas Heitor.

Ao meu avô (*In Memoriam*), Francisco Ferreira de Souza, mais conhecido como Sr. Matias e minha avó Maria Rodrigues de Souza, pelas conversas, conselhos e pelos cafunés, que tanto amo.

Aos colegas do IFPB, com os quais tive o prazer de compartilhar conhecimentos.

RESUMO

Diante das dificuldades que a sociedade vem passando para assegurar uma matriz energética estável, bem como as possíveis consequências ambientais para as gerações futuras, surgem novas tecnologias energéticas que provocam menos impactos ambientais e têm uma fonte renovável e sustentável, dentre elas está a energia solar, sistema que capta a irradiação solar e converte em energia elétrica. O presente trabalho tem como finalidade, analisar o consumo energético de 76 prédios públicos municipais, elaborar um projeto de uma mini usina fotovoltaica que atenda toda a demanda dos setores municipais e fazendo um comparativa entre os valores pagos à concessionária de Energia Elétrica (Enel) e o investimento para executar o projeto, realizando uma avaliação do custo-benefício durante sua vida útil. O percurso metodológico consiste em analisar o consumo energético a partir de faturas pagas à concessionária de energia elétrica no período de junho de 2021 a junho de 2022, em seguida foi feito um estudo de um possível local para instalação da usina, com auxílio de um programa, obteve-se os dados de irradiação solar daquele local. Posteriormente foi realizado o dimensionamento da mini usina fotovoltaica e o orçamento dos insumos necessários para instalação da mesma. Para finalizar, foi realizado um estudo da viabilidade do projeto.

Palavras-chave: sistema fotovoltaico; sustentabilidade; energias renováveis.

ABSTRACT

Faced with the difficulties that society has been going through to ensure a stable energy matrix, as well as the possible environmental consequences for future generations, new energy technologies are emerging that cause less environmental impact and have a renewable and sustainable source, among them is solar energy, system that captures solar radiation and converts it into electrical energy. The present work aims to analyze the energy consumption of 76 municipal public buildings, to elaborate a project of a mini photovoltaic plant that meets all the demand of the municipal sectors and making a comparison between the amounts paid to the Electric Energy concessionaire (Enel) and the investment to execute the project, carrying out a cost-benefit evaluation during its useful life. The methodological path consists of analyzing the energy consumption based on invoices paid to the electric power concessionaire in the period from June 2021 to June 2022, followed by a study of a possible location for installing the plant, with the aid of a program , solar irradiation data for that location were obtained. Subsequently, the design of the mini photovoltaic plant and the budget of the necessary inputs for its installation were carried out. Finally, a feasibility study of the project was carried out.

Keywords: photovoltaic system; Sustainability; renewable energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Investimento em energias renováveis, 2010 a 2019, em bilhões de dólares.....	18
Figura 2 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.....	19
Figura 3 – Países com maior capacidade de energia solar instalada em 2020.....	20
Figura 4 – Sistema solar fotovoltaica <i>off-grid</i>	20
Figura 5 – Sistema solar fotovoltaica <i>on-grid</i>	21
Figura 6 – Representação esquemática da estrutura de um módulo fotovoltaico de silício cristalino.....	24
Figura 7 – Tipos principais de placas solares fotovoltaicas.....	25
Figura 8 – Célula, módulo e arranjo fotovoltaico (silício policristalino).....	27
Figura 9 – Características de um <i>string</i> e de um micro inversor.....	27
Figura 10 – Local de possível implantação da mini usina fotovoltaica.....	30
Figura 11 – Dados de incidência de irradiação solar diária média no local de provável implantação da miniusina e imediações.....	30
Figura 12 – Diagrama Elétrico Usina Solar SFCR 1108 KWp.....	37
Figura 13 – Detalhamento da miniusina fotovoltaica para cidade de Barro – CE.....	38
Figura 14 – Análise de investimento usina solar, potência 1108 KWp para cidade de Barro – CE.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos, potência, dimensões e eficiência das placas fotovoltaicas.....	25
Tabela 2 – Consumo anual e média mensal dos setores consumidores.....	31
Tabela 3 – Especificações da placa solar.....	34
Tabela 4 – Especificações do arranjo.....	35
Tabela 5 – Especificações do inversor <i>on grid</i>	35
Tabela 6 – Tabela: Fornecimento e instalação de sistema de geração de energia fotovoltaica 1108 KVA.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- BDI – Benefícios e Despesas Indiretas
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- BOS – *Balance of System*
- CA – Corrente Contínua
- CC – Corrente Alternada
- CNPJ – Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
- CPF – Cadastro Nacional de Pessoa Física
- CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
- ENEL – Entidade Nacional de Eletricidade
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
- IEA – Agencia Internacional de Energia
- MME – Ministério de Minas e Energia
- MMGD – Micro e mini geração distribuída
- MPPT – *Maximum Power Point Tracking*
- NBR – Norma Brasileira
- O – Oeste
- PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
- RN – Resoluções Normativas
- S – Sul
- SCEE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica
- STC - Condições Padrões de Teste
- VCC – Tensão em Corrente Contínua

LISTA DE SÍMBOLOS

kV – quilovolt

% – porcentagem

MW – megawatt

m – metro

kg – quilograma

W – watts

kW – quilowatts

kWh – quilowatt-hora

kWh/m² – quilowatt-hora por metro quadrado

° – grau

km – quilômetro

W/m² – watts por metro quadrado

C – Celsius

m/s – metros por segundo

P_{FV} – potência instalada

Wp – watt-pico

E – Energia a ser gerada

G_{STC} – irradiação nas STC

W/m² – watt por metro quadrado

H_{TOT} – irradiação total

Wh/m² – watt-hora por metro quadrado

TD – taxa de desempenho

N_{mod} – quantidade de módulos do sistema fotovoltaico

P_{mod} – potência do módulo

Wh/dia - watt-hora por dia

MH – millihenry

V – volts

m² – metro quadrado

A – ampère

mm – milímetro

Hz – hertz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	16
3.2	ENERGIA SOLAR: SURGIMENTO E APLICAÇÃO	19
3.3	RESOLUÇÃO Nº 482 DA ANEEL.....	22
3.4	SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOTAICA CONECTADO NA REDE (SFCR)	23
3.1	LEI 14300	29
4	METODOLOGIA	30
4.1	DESCRIÇÃO DO PROJETO	32
4.1.1	Dimensionamento do projeto	34
4.1.2	Quantidade, dados e características do módulo fotovoltaico	35
5	RESULTADOS E ANÁLISES	37
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44
7	ANEXO A	48
8	ANEXO B	49

1 INTRODUÇÃO

O Planeta vem demonstrando há um certo tempo que nossas práticas estão contribuindo em larga escala para que haja uma insustentabilidade dos recursos naturais, sendo que existe uma enorme demanda para suprir as nossas necessidades, dentre elas está a matriz energética, que é um dos pilares de sustentação da sociedade (KRELL; SOUZA, 2020).

A matriz energética é composta por fontes renováveis (hidrelétrica, eólica, solar, geotérmica dentre outras) e principalmente pelas não renováveis (carvão, petróleo e gás natural) (IEA, 2022). Devido ao alto custo de obtenção e ao poder de degradação e poluição do meio ambiente das fontes não renováveis e da escassez hídrica que vem assolando as principais regiões que abastecem as hidrelétricas, surgem novas técnicas de obtenção de fontes de energias limpas que não prejudicam o meio ambiente (EPE, 2022).

A configuração da energia solar fotovoltaica se dá a partir da conversão direta da radiação solar em eletricidade, devido a um dispositivo denominado como célula fotovoltaica que age utilizando o princípio do efeito fotoelétrico (IMHOFF, 2007, p.58).

A primeira célula solar foi desenvolvida no ano de 1954 pelo cientista Bell Labs e desde então a tecnologia vem sendo aprimorada e ganhando notoriedade no mundo inteiro (MACHADO; MIRANDA, 2015, p. 126-143). Essa tecnologia se aplica em qualquer lugar, sendo que a eficiência está diretamente relacionada a quantidade de isolamento no decorrer do dia. Os países sul-americanos, com ênfase o Brasil, tem capacidade teórica e potencial econômico de ser um país proeminente nesta área (CARVALHO; CALVETE, 2010, p. 192-203).

O Brasil destaca-se no setor energético devido a alguns fatores, dentre eles estão as características e localização geográfica do país: tropical, litorâneo, propício a sol e vento, ideal para a produção de energia solar e eólica. Segundo Ben, (2019), 46% do consumo de energia do país é proveniente de fontes renováveis, enquanto em todo o mundo é de apenas 14%. O Brasil segue como um dos principais produtores de energia renováveis, porém precisa aperfeiçoar continuamente sua capacidade de atender as necessidades (ENERGIA BRASIL, 2022.).

A Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR) e seus associados, vêm desenvolvendo em parceria com o governo brasileiro a implementação de incentivos, seguindo a tendência mundial de investimentos governamentais nesse tipo de geração de energia, devido ao aumento da utilização da energia solar fotovoltaica nos mais diversos países, que tem como objetivo ampliar a geração de eletricidade através da diversificação de sua matriz energética e

da exploração de fontes de geração menos poluentes.

No Brasil, existe uma resolução normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) N° 482/2012 que respalda a micro e mini geração distribuída – MMGD, no qual o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade (ANEEL, 2022).

Os Bancos aderiram a uma linha de crédito específica para o setor de energias renováveis, sendo que o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, dispôs de financiamento para aquisição e comercialização de sistemas de geração de energia solar e eólica, dentre outras modalidades de geração, com ênfase no tocante a eficiência energética ou que contribua para reduzir a emissão de gases de efeito estufa, com taxas de juros a partir de 0,9% ou 1,4% ao ano e prazo de até 16 anos, incluindo o período de carência de até 8 anos (BNDES, 2022).

O presente estudo justifica-se por levantar a discussão sobre a aplicação de tecnologias renováveis e sustentáveis, uma vez que tal preocupação é um caminho para fomentar a exploração e instalação de usinas de energia limpa.

Este trabalho mostra o dimensionamento, uma projeção dos custos do projeto e execução de uma mini usina fotovoltaica, bem como uma comparação com os custos pagos à Entidade Nacional de Eletricidade (ENEL) pelo fornecimento da energia elétrica dos setores públicos municipais da Cidade de Barro – CE, por fim, mostra uma análise da viabilidade desse projeto.

Além deste, o trabalho conta com mais 5 capítulos: no capítulo 2 estão expostos os objetivos da pesquisa. No capítulo 3 encontra-se a revisão de literatura, fornecendo o aparato teórico para o trabalho. No capítulo 4 descreve-se a metodologia, na qual apresenta-se o percurso seguido durante o estudo. No capítulo 5 são apresentados os resultados e discussões, analisados de acordo com a teoria indicada e, por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões do estudo.

2 OBJETIVOS

Nesse capítulo são apresentados os objetivos do trabalho.

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um projeto de uma mini usina fotovoltaica que atenda toda a demanda dos setores municipais da cidade de Barro – CE, fazendo um comparativo entre os valores pagos à concessionária de Energia Elétrica (Enel) e o investimento para executar o projeto, realizando uma avaliação do custo-benefício durante sua vida útil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Fazer um levantamento do consumo energético dos prédios públicos do município do Barro – CE;
- Elaborar um projeto de uma mini usina Fotovoltaica capaz de suprir a demanda de todos os prédios públicos da cidade;
- Fazer um comparativo do valor pago à distribuidora (Enel) com o valor investido no projeto da mini usina fotovoltaica;
- Analisar o saldo de retorno (*payback*) do projeto da mini usina fotovoltaica durante sua vida útil.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica, necessária para o embasamento e desenvolvimento deste trabalho.

3.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

A matriz energética do Brasil é composta por fontes renováveis e não renováveis. As fontes renováveis são aquelas vindas de processos naturais que podem ser reabastecidos. (SCHOLTEN; BOSMAN, 2013). As fontes não renováveis são finitas e esgotáveis. (EPE, 2022).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2022), as fontes renováveis adotadas no Brasil de maior expressão energética são: Hidráulica, Solar, Eólica, Biomassa. A geração de energia por meio hidráulico tem sido a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro, tanto pela sua competitividade econômica, quanto pela abundância deste recurso a nível nacional.

Segundo a CHESF (2022), as usinas hidrelétricas utilizam a água armazenada pelas barragens que passa por tubos interligados às turbinas, fazendo-as girar, cada turbina é acoplada a um equipamento chamado gerador, formando, assim, a unidade geradora que faz a transformação da energia mecânica, do movimento das pás da turbina, em energia elétrica. A energia gerada é transmitida por uma subestação elevadora que elevam a tensão de 13,8 kV podendo chegar até 500 kV, a depender do potencial de geração da hidrelétrica.

A produção de energia solar ocorre a partir da conversão direta entre a radiação solar e a energia elétrica. Essa conversão é realizada pelas células fotovoltaicas, estruturas compostas por semicondutores, como o silício, que geram a eletricidade com base no calor da radiação solar. (IMHOFF, 2007).

A energia eólica é proveniente do vento, seu processo de geração ocorre através da transformação da energia cinética em energia mecânica, e posteriormente em energia elétrica, por meio dos aerogeradores, que são grandes estruturas compostas por cataventos e geradores, responsáveis pela captação do vento e geração de energia. (BARRA e TEIXEIRA, 2022).

A produção de energia elétrica por meio da biomassa é obtida pela queima de plantas, madeira, restos vegetais e animais podendo ser feita por processos como combustão direta, fermentação, gaseificação e outros. Os biocombustíveis produzidos são, por exemplo: etanol, biodiesel e biogás. (SILVA *et al.* 2021). Estes representaram, em 2021, 78,1% da oferta de

energia elétrica.

Pode-se citar como fontes não renováveis o petróleo, o gás natural, a energia nuclear, entre outras, que foram responsáveis por 21,9% da oferta de energia em 2021. Os números mostram ainda que a fonte hidráulica continua superior as demais, porém, com redução na porcentagem de participação de 60,7% em 2020 para 53,4% em 2021 (BRASIL, 2022).

A escassez hídrica é um dos fatores preocupantes para a produção de energia no Brasil, com isso, surgiram outros meios de produção de energias renováveis conhecidas como energias verdes, produzidas a partir de elementos naturais como sol e vento disponíveis em quantidades inesgotáveis sem qualquer tipo de intervenção humana (ENEL, 2022).

O vento, o sol, a água, são fontes de obtenção de energias renováveis que estão presentes na natureza de maneira abundante, aptas para o processo de geração de eletricidade. Essas fontes de energia são capazes de reduzir os níveis de emissões de gases de efeito estufa (EPE, 2022).

Ao longo dos últimos dez anos, a capacidade de produção de energias renováveis quadruplicou no mundo, devido aos grandes investimentos feitos no setor, segundo relatório divulgado pela *Global Trends in Renewable Energy Investment* (2019). De acordo com a Figura 1, a China foi o país que mais investiu em energias renováveis entre os anos de 2010 e 2019, e o Brasil ficou em oitavo lugar.

Ainda de acordo com o relatório, uma maneira positiva de observar os impactos das energias renováveis no sistema de energia, é o volume de emissões de dióxido de carbono que elas economizaram, em comparação com o que aconteceria se a mesma eletricidade tivesse sido gerada por outras tecnologias, considera-se que as emissões do setor de energia mundial teriam sido de aproximadamente 2 giga toneladas, ou 15%, maiores em 2018, caso não houvesse investimento em novas energias renováveis nos últimos anos.

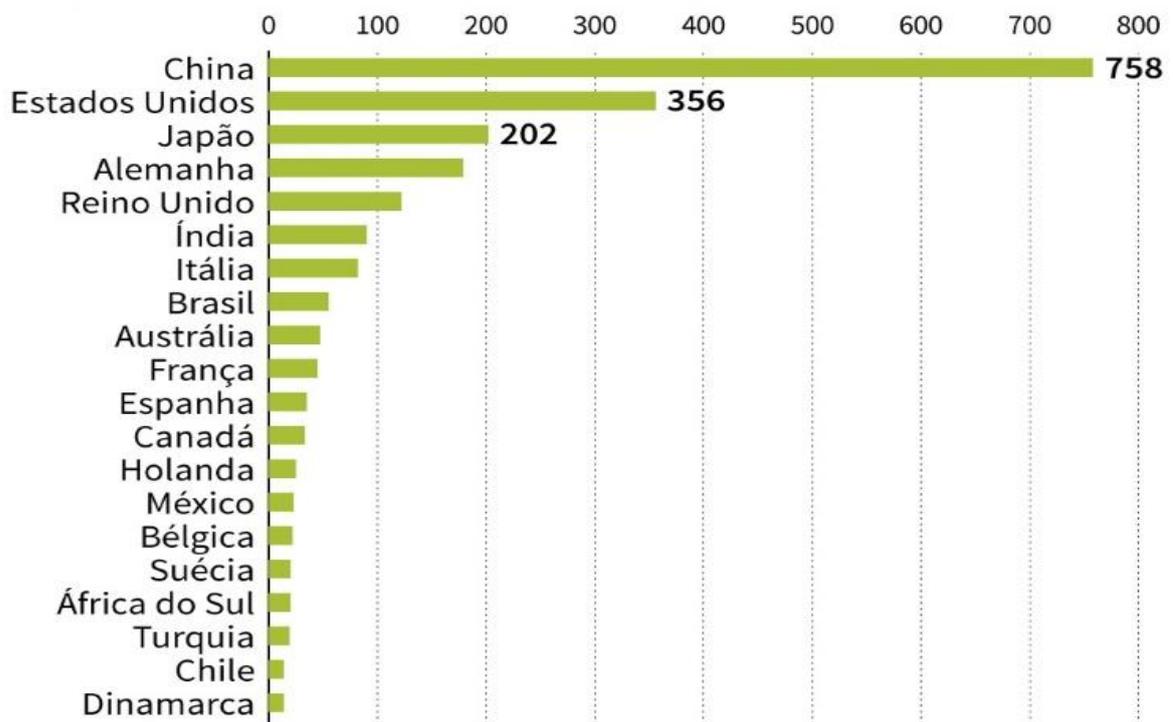
O processo de transição energética transcorre pela passagem de uma matriz energética focada nos combustíveis fósseis para uma com baixa ou zero emissões de carbono, baseada em fontes renováveis, a queda dos custos das tecnologias renováveis foi de 80% para a energia solar fotovoltaica e 60% para a energia eólica *onshore* (ENELGREENPOWER, 2022).

A transição energética, porém, não se limita ao fechamento gradual das usinas a carvão e ao desenvolvimento de energias limpas, mas, de uma mudança de paradigma de todo o sistema propondo um investimento compacto em infraestrutura de energia limpa, no qual possibilitará uma transição energética segura e acessível (IEA, 2022).

A energia solar no Brasil é uma opção viável, pelo fato do país possuir uma localização privilegiada, em zona tropical, em que há incidência solar ao longo de todo o ano (LIMA, 2017).

O Brasil detém em abundância as principais fontes de energia renováveis da atualidade, sendo a solar uma das alternativas mais promissoras na composição da nova matriz energética mundial, espera-se que em um curto espaço de tempo, seja a fonte renovável de energia mais importante do planeta, além de ser um dos países que mais produz silício do mundo, material usado para confecção de placas solares. (SILVA; ARAÚJO, 2022).

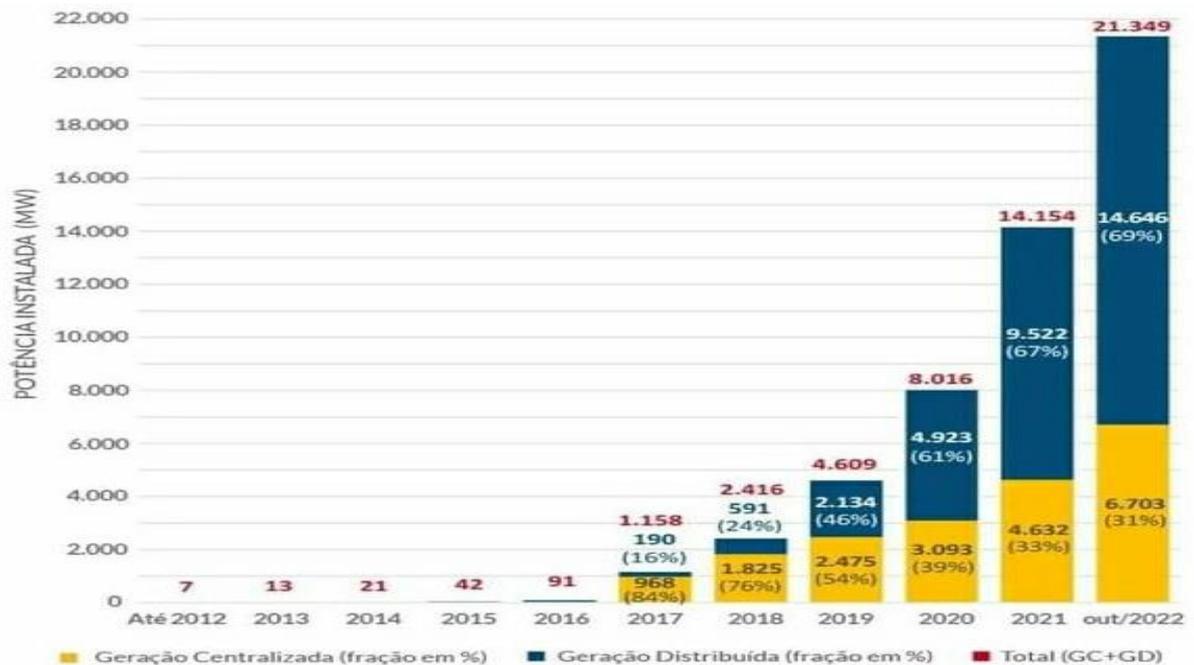
Figura 1 – Investimento em energias renováveis, 2010 a 2019, em bilhões de dólares.



Fonte: Relatório *Global Trends in Renewable Energy Investment*, 2019.

Na Figura 2, pode-se observar a evolução da fonte solar fotovoltaica na última década, atingindo uma marca expressiva de 21,3 MW, sendo 69% deste total de geração distribuída, enquanto a geração centralizada corresponde a 31% do total. (ANEEL/ABSOLAR, 2022).

Figura 2 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ANEEL/ ABSOLAR, 2022.

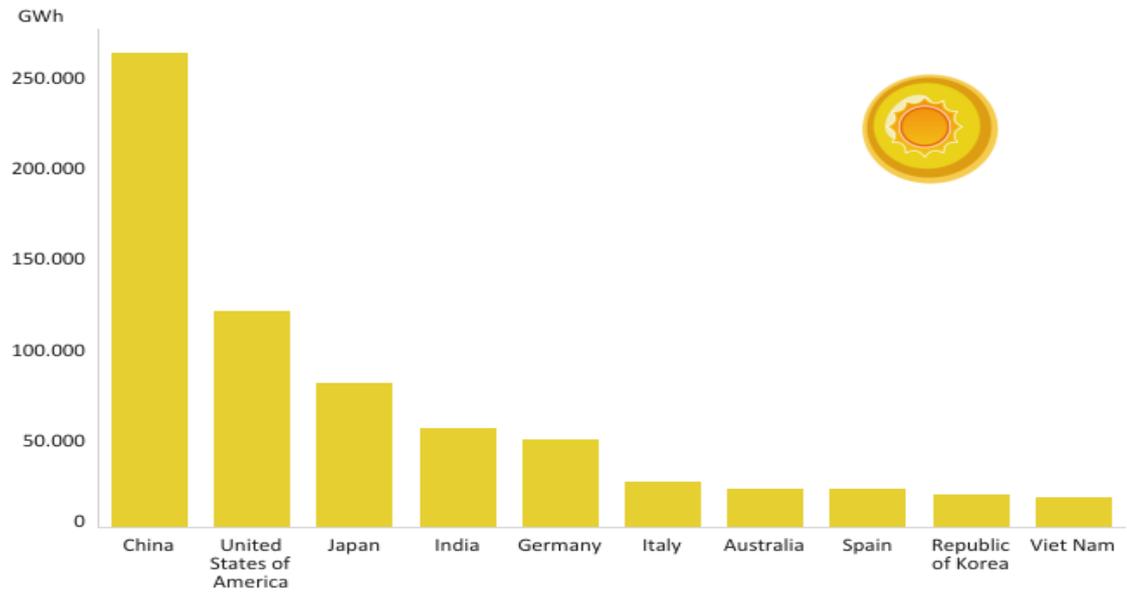
3.2 ENERGIA SOLAR: SURGIMENTO E APLICAÇÃO

O Sol é uma fonte de energia inesgotável que traz benefícios a terra através de luz e calor, no qual o sistema de energia fotovoltaica usufrui desta luz para transformá-la em eletricidade através de células fotovoltaicas.

Foi em 1954 que a energia solar iniciou sua trajetória, graças ao físico Russell Shoemaker Ohl e dos cientistas do laboratório Bell Labs: Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin, que deram uma larga contribuição no aperfeiçoamento. No ano de 1958 foram utilizados os primeiros painéis solares, só que no espaço, quando o satélite Vanguard I foi lançado, com o auxílio de um painel de 1 W para alimentar seu rádio na viagem. Além disso, foram construídas as primeiras instalações solares para casas, estabelecimentos, meios de transportes, tais como ônibus, navio e avião. (PORTALSOLAR, 2022).

Segundo IRENA (2022), com custos cada vez mais baixos, os sistemas de painéis fotovoltaicos se tornam a escolha de governos, indústrias, empresas, e principalmente, consumidores residenciais, que conseguem reduzir os gastos com energia elétrica e ainda contribuem para a sustentabilidade mundial. Não à toa, os recordistas de instalações solares são justamente os chineses, os americanos e os Japoneses, conforme a Figura 3.

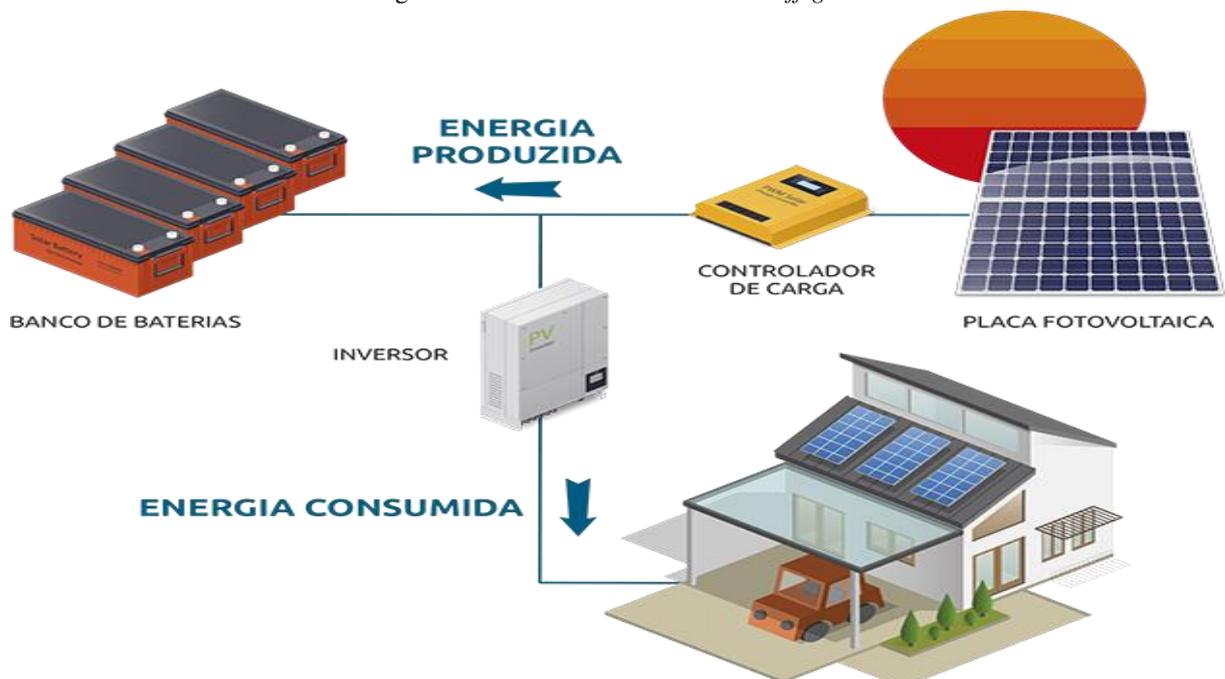
Figura 3 – Países com maior capacidade de energia solar instalada em 2020.



Fonte: IRENA, 2022.

O sistema de energia solar *off-grid* (ver Figura 4) é um sistema isolado ou sistema autônomo que funciona sem o auxílio da rede e tem como principal característica o autossustento, ou seja, é um sistema não conectado à rede elétrica, que armazena a energia solar excedente em baterias para ser utilizada quando não houver produção. (RESENDE, 2019).

Figura 4 – Sistema solar fotovoltaica *off-grid*.

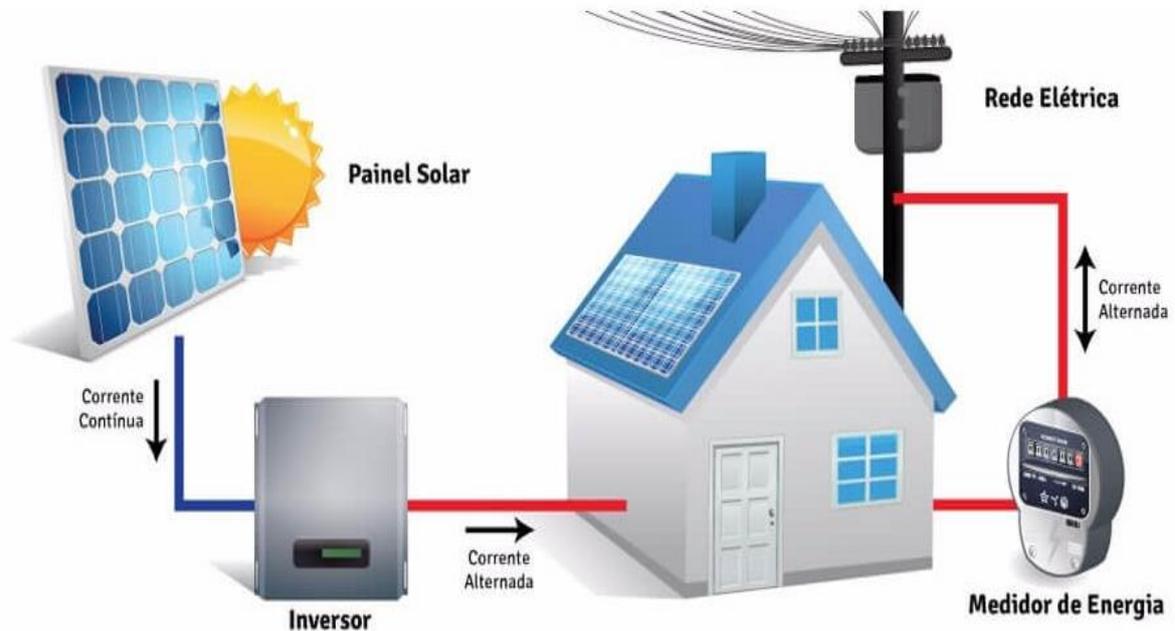


Fonte: Aneel, 2022.

Por tratar-se de um sistema autônomo, o funcionamento ocorre à parte da rede elétrica, no qual abastece os aparelhos domésticos e eletrônicos que utilizarão a energia de forma direta e a energia excedente ficará armazenada em baterias, podendo ser utilizada em dias chuvosos, nublados e durante a noite. Esse sistema opera com o mesmo padrão de captação da luz do sol para a conversão de energia solar em energia elétrica, utilizando equipamentos como painéis solares, inversor solar, controlador de carga e baterias (PINHO, 2014).

O sistema *on-grid* (ver Figura 5) é um sistema de energia solar fotovoltaico que está ligado à rede pública de distribuição, no qual funciona da mesma maneira que o sistema *off-grid*, mudando apenas o armazenamento do excedente. O sistema gera energia em corrente contínua que passa pelo inversor e é transformada em corrente alternada, em momentos nos quais a produção de energia está em baixa, o sistema estará pronto para utilizar rede proveniente da distribuidora e, em momentos em que a produção é maior do que a capacidade de utilização, o excedente é repassado para a rede pública, gerando créditos que têm até 36 meses de validade. (PORTALSOLAR, 2022).

Figura 5 – Sistema solar fotovoltaica *on-grid*.



Fonte: Aneel, 2022.

A principal vantagem do sistema *on-grid* está relacionada ao custo inicial de instalação, devido ao sistema ser interligado com a rede de distribuição e não precisar de baterias para armazenar o excedente que é um dos fatores de maior influência no custo do sistema, além de

contribuir para o meio ambiente inviabilizando o uso de baterias que tem um alto poder de poluição. A desvantagem do sistema *on-grid* está relacionada a dependência da rede de distribuição, caso aconteça algum problema com a rede e no momento esteja utilizando a mesma, ficará sem energia. (BOSO et al., 2015).

O sistema *off-grid* tem como principal vantagem a independência, pois seu excedente fica armazenado em baterias e não necessita da rede de distribuição. A desvantagem do sistema *off-grid* se dá tanto pelo custo inicial de instalação, as baterias têm um maior custo do sistema, quanto pela durabilidade ou vida útil do sistema, as baterias estão aptas a uso por até 7 anos. (SILVA, 2022).

O inversor *Grid Tie* é um inversor solar especialmente utilizado em sistemas fotovoltaicos conectados na rede elétrica, que converte a eletricidade produzida pelos painéis solares de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) na tensão adequada para uso residencial ou comercial, possibilitando o abastecimento de energia em mais de um local, no mesmo CPF ou CNPJ, cadastrado junto a companhia distribuidora, além disso, não necessita do uso de controladores de carga ou de baterias, o que significa mais eficiência e facilidade no seu modo de operação, proporcionando uma redução de até 95% no valor das contas de energia, bem como o resgate de créditos energéticos quando não há utilização da energia produzida. (NEOSOLAR, 2022).

3.3 RESOLUÇÃO N° 482 DA ANEEL

De acordo com a resolução normativa ANEEL N° 482, de 17 de abril de 2012, o consumidor pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. O Art. 1° da norma expressa as condições gerais para o acesso de microgeração e mineração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia, sendo que a mesma determinou um prazo para que as distribuidoras de energia do país criassem normas técnicas referentes ao acesso de geração e que as distribuidoras deveriam atender a solicitações de acesso nessas modalidades de geração de energia elétrica.

Segundo Neto *et al.* (2014), a Resolução n° 482 estabeleceu um novo conceito para o modelo elétrico brasileiro ao permitir e regulamentar que qualquer consumidor final do sistema possa gerar e injetar energia elétrica na rede da distribuidora, tornando-se assim um marco histórico na política energética do país.

O sistema *on-grid* propõe maiores benefícios para o usuário e para o meio ambiente, apresentando um menor custo de implantação do sistema e maior eficiência ecológica. Esse sistema é conectado diretamente à rede de distribuição da concessionária e não necessita de baterias para armazenar a produção, é composto basicamente pelos módulos fotovoltaicos (placas solares) e pelos inversores interativos, conhecidos como *grid-tied*. Existem também os componentes de integração do sistema (*Balance of System – BOS*), que são as estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos e os componentes elétricos de proteção. (ROSA *et al.*, 2022).

De acordo com Ministério de Minas e Energia (2022), após a resolução de nº 482/2012 entrar em vigor, a geração distribuída proporcionou ao povo brasileiro a condição de poder gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Os microgeradores e minigeradores solares fotovoltaicos são sistemas de geração elétrica de pequena e média potência, respectivamente, com finalidades de produzir a demanda mínima, sendo que os microgeradores são centrais com potência instalada menor ou igual a 100 kW, já os minigeradores, são centrais com potência acima de 100 kW e menor ou igual a 5 MW. A taxa referente a disponibilidade da rede que é composto pela tarifa de energia (TE) + tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) – (FIO A, ENCARGOS E PERDAS) é de 30 KW/h monofásico, 50KW/h para bifásico e 100 KW/h para trifásico.

3.4 SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOTAICA CONECTADO NA REDE (SFCR)

Segundo, as regras da Resolução Normativa 482/2012 e 687/2015 da ANEEL e da Seção 3.7, do PRODIST e as normas técnicas da aplicáveis, se faz necessário seguir as mesmas para elaborar o projeto de microgeração, que por vez se dá a partir do pré-dimensionamento. Solicita à distribuidora a conexão à rede por meio de envio do formulário de solicitação de acesso para microgeração distribuída, que é preenchido e acompanhado dos documentos exigidos em anexos (lista disponível no anexo da REN 687/2015, que revisou a REN 482/2012).

Deve-se acompanhar junto à distribuidora a aprovação da conexão, após 15 dias da realização do pedido, o parecer de acesso deve despontar. É importante instalar e testar o microgerador antes de solicitar a vistoria da distribuidora para aprovação do ponto de conexão, em seguida instala-se o novo medidor bidirecional que deve ter a conexão feita pela própria distribuidora e daí inicia-se o sistema de compensação de energia.

O sistema *on-grid* é composto por módulos fotovoltaicos, chamado popularmente de painel solar, o material semicondutor que o reveste (geralmente o silício que pode ser monocristalino, policristalino e tela fina) é sensível à luz e gera eletricidade quando é atingido pela radiação solar, graças ao fenômeno físico conhecido como efeito fotovoltaico.

Os módulos fotovoltaicos são compostos de células fotovoltaicas individuais conectadas no qual sua estrutura clássica é baseada em duas camadas, carregadas de maneira negativa e positiva, de dióxido de silício e alumínio, enquanto a superfície antirreflexo é responsável por promover a absorção da luz solar. Além das células, a placa solar também é revestida por diversos materiais que visam protegê-la e evitar sua oxidação: uma moldura, uma camada de vidro temperado, dois encapsulantes, o *backsheet* (geralmente feito de plástico, material que vai atrás da placa solar), uma caixa de junção e um cabo para conectá-la ao sistema, assim coletam e transferem a corrente gerada para os sistemas de gerenciamento da usina solar (ENELGREENPOWER, 2023). Uma ilustração da estrutura de um módulo fotovoltaico pode ser observada na Figura 6.

A eficiência de um painel solar é a sua capacidade de conversão da luz em eletricidade, cada módulo fotovoltaico é composto por dezenas de células solares que é a unidade básica de funcionamento da tecnologia fotovoltaica responsável pelo processo que converte a luz em energia elétrica, assim a eficiência do painel solar está diretamente ligada a células, quanto mais eficientes forem as células solares utilizadas nos módulos fotovoltaicos, maior será a eficiência do painel solar. Outros fatores que influenciam na eficiência das placas, são a forma como as células fotovoltaicas são posicionadas dentro da placa solar e o acabamento dado a ela, pois o cálculo da eficiência é feito com base na área total do dispositivo que recebe a radiação solar, a inclinação apropriada e a orientação correta em relação à luz solar tem uma grande parcela de contribuição para uma melhor eficiência. Assim, para obtermos a eficiência da placa em %, basta obter a razão (potência / área x irradiância padrão por m²) x 100. (LEWANDOSKI et al., 2021).

Figura 6 – Representação esquemática da estrutura de um módulo fotovoltaico de silício cristalino.



Fonte: Carneiro, 2010.

Figura 7 – Tipos principais de placas solares fotovoltaicas.



Fonte: Neosolar, 2023.

Atualmente, existem diversas Potências, modelos, tecnologias e conseqüentemente eficiências de placas solares. A grande maioria dos painéis fotovoltaicos tem garantia de potência de 80% de sua potência original por até 25 anos e de 30 anos de vida útil. A Tabela 1 mostra alguns modelos e marcas.

Tabela 1 – Modelos, potência, dimensões e eficiência das placas fotovoltaicas.

Potência dos módulos fotovoltaicos (watts)	Dimensões dos módulos fotovoltaicos (m)	Marca/modelo	Nº de células	Tecnologia	Eficiência (%)
10	0,29m x 0,35m - 1,4kg	KYOCERA - Modelo KS10T	---	policristalino	9,4
20	0,52m x 0,35m - 2,4kg	KYOCERA - Modelo KS20T	---	policristalino	11,00
45	10,3m x 0,35m - 4,55kg	KYOCERA - Modelo KS45T	---	policristalino	12,80
90	1,03m x 0,67m - 7,75kg	KYOCERA - Modelo KS90T	---	policristalino	13,20
140	1,50m x 0,67m - 12,9kg	KYOCERA - Modelo KD140SX UFBS	---	policristalino	14,00
235	1.63m x 0,98m - 19kg	Canadian Solar - Modelo CS6P 235P	60	policristalino	14,61
240	1.63m x 0,98m - 19kg	Canadian Solar - Modelo CS6P 240P	60	policristalino	14,92
245	1.63m x 0,98m - 19kg	Canadian Solar - Modelo CS6P	60	policristalino	15,23
250	1.64m x 0,99m - 18kg	ReSun - Modelo RSC6	60	policristalino	15,36
250	1.63m x 0,98m - 19kg	Canadian Solar - Modelo CS6P	60	policristalino	15,54
255	1.64m x 0,99m - 19kg	ReneSola - Modelo Virtus II JC260M-24/Bb	60	policristalino	15,70
260	1,65m x 0,99m - 18,2kg	A SOLAR - Modelo JAP6-60- 260 4BB 1500V	60	policristalino	15,90
260	1.65m x 0,99m - 23kg	Canadian Solar - Modelo CS6K	60	policristalino	15,88
260	1.64m x 0,99m - 19kg	ReneSola - Modelo Virtus II JC260M-24/Bb	60	policristalino	16,00
265	1.65m x 0,99m - 18.5kg	SunEdison - Modelo SE- P265NPB-A4	60	policristalino	16,20
265	1,65m x 0,99m - 18,2kg	JA SOLAR - Modelo JAP6- 60-265 4BB 1500V	60	policristalino	16,21
265	1.64m x 0,98m - 18kg	Canadian Solar - Modelo CS6P	60	policristalino	16,47
270	1.65m x 0,99m - 18,2kg	Canadian Solar - Modelo CS6K	60	Monocristalino	16,50
270	1.95m x 0,99m - 27kg	SunEdison - Modelo SE- B270KXC-38	60	policristalino	16,40
270	1.65m x 0,99m - 19kg	SunEdison - Modelo SE- P270NPB-A4	60	Monocristalino	16,50
270	1,65m x 0,99m - 18,2kg	JA SOLAR - Modelo JAP6- 60-270 4BB 1500V	60	Policristalino	16,51
275	1.65m x 0,99m - 18,2kg	Canadian Solar - Modelo CS6K-275M	60	Monocristalino	16,80
275	1,65m x 0,99m - 18,2kg	JA SOLAR - Modelo JAP6- 60-275 4BB 1500V	60	Policristalino	16,82
305	1.95m x 0,99m - 27kg	ReneSola - Modelo Virtus II JC305M-24/Ab	72	Policristalino	15,70
310	1,95m x 0,99m - 26kg	Modelo JAP6-72-310 3BB 1500V	72	Policristalino	15,99
310	1.95m x 0,99m - 27kg	ReneSola - Modelo Virtus II JC310M-24/Bb	72	Policristalino	16,00

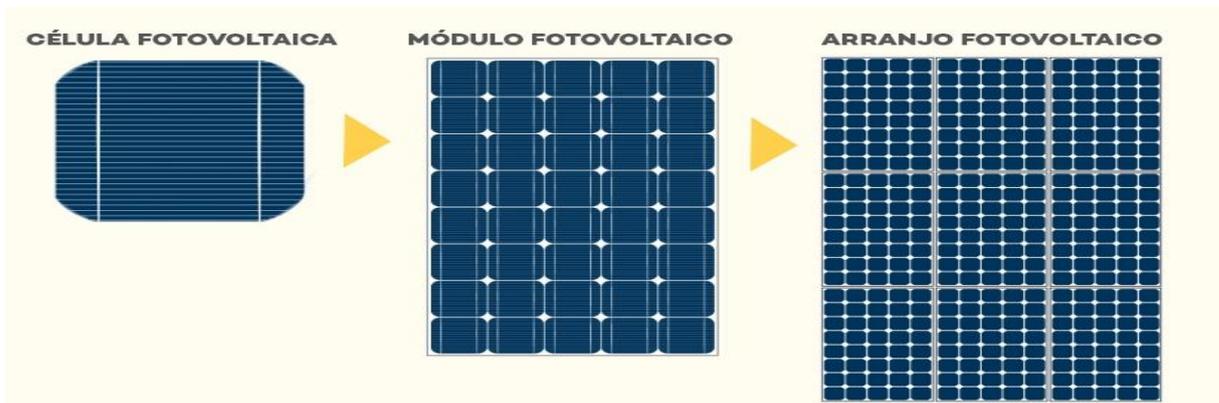
315	1,95m x 0,99m - 26kg	JA SOLAR - Modelo JAP6- 72-315 3BB 1500V	72	Policristalino	16,25
315	1,97m x 1m - 27,5kg	Canadian Solar - Modelo CS6X-315P-FG	72	Policristalino	16,14
315	1,95m x 0,98m - 22kg	Canadian Solar - Modelo CS6X-315P	72	Policristalino	16,42
320	1,95m x 0,98m - 22kg	Canadian Solar - Modelo CS6X-320P	72	Policristalino	16,68

Fonte: Adaptado de Portal solar, 2023.

Arranjo fotovoltaico é um aglomerado de módulos ou painéis fotovoltaicos compostos por células fotovoltaicas associadas sobre uma estrutura montada, seu principal componente é o silício monocristalino, policristalino ou amorfo, com suas respectivas eficiências em torno de 18%, de 14% de 7 a 13%, a depender do tamanho da placa, disposições das células, posicionamento das placas em relação aos ângulos de radiação solar e possivelmente sombreamento. (CASARO; MARTINS, 2008).

Os inversores solares são equipamentos usados para converter a energia gerada pelos painéis solares de corrente contínua para corrente alternada, contribuem com a segurança de todo o sistema, viabilizando um monitoramento eficaz e também otimiza a energia produzida e distribuída. (SANTOS *et al*, 2022). Uma ilustração desses componentes pode ser observada na Figura 8.

Figura 8 – Célula, módulo e arranjo fotovoltaico (silício policristalino).



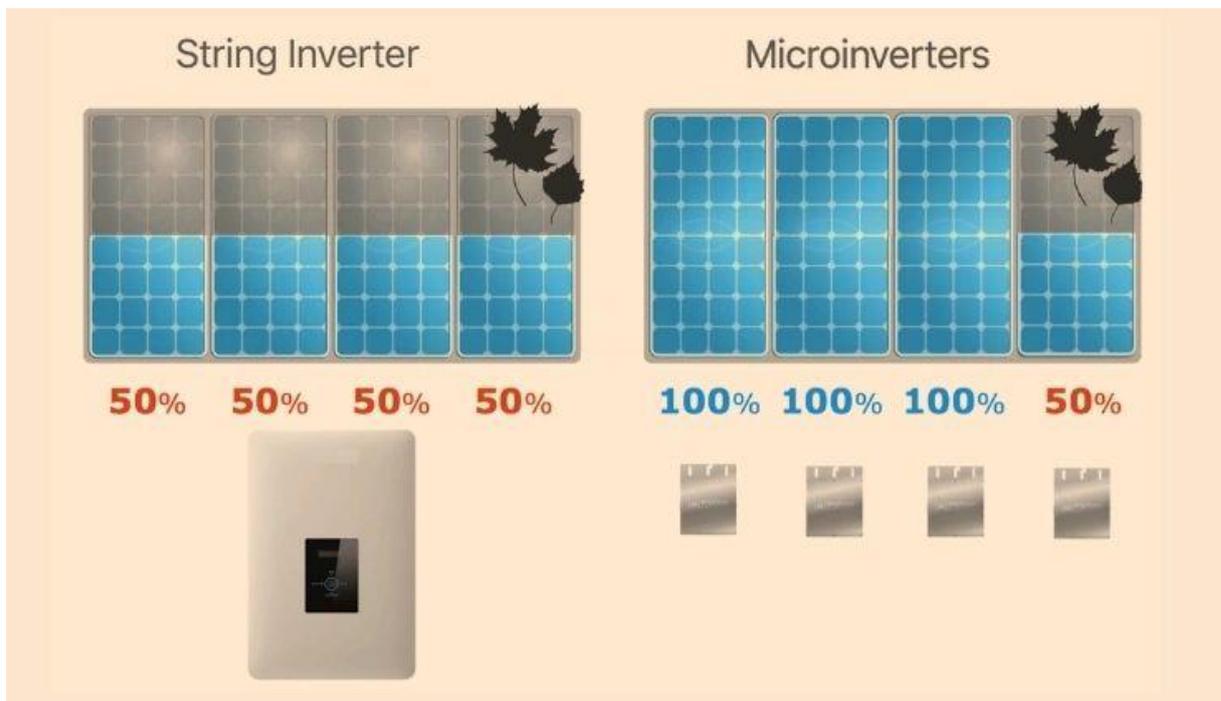
Fonte: Neosolar, 2023.

O micro inversor solar é um equipamento cada vez mais comum em sistemas de energia solar fotovoltaica, que proporciona a mesma função do inversor *string* de converter a energia gerada pelas placas solares de corrente contínua para corrente alternada. A diferença principal é que cada micro inversor atenderá no máximo a um conjunto de 4 placas solares, que consegue realizar um tratamento mais individualizado sobre cada módulo solar, fazendo com que o

sistema aproveite melhor o seu potencial energético, já os inversores *string* são mais utilizados em arranjos por possuírem potência superior ao do micro inversor e atender maiores quantidades de módulos fotovoltaicos (ZHANG *et al.*, 2013).

Na Figura 9 pode-se observar as características e uma comparação entre um *string* e de um micro inversor.

Figura 9 – Características de um *string* e de um micro inversor.



Fonte: Neosolar, 2023.

De acordo com NBR 16690 de Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto, o componente de proteção do sistema fotovoltaico da parte da corrente contínua, que concatena os cabos vindos dos módulos fotovoltaicos ao inversor, enquanto provê proteção contra sobretensão e sobrecorrente e permite divisões do circuito, é denominado como *string box*. Esse dispositivo isola o sistema de produção de energia fotovoltaica, com finalidade de impedir o risco de propagação de acidentes elétricos.

Um dos elementos imprescindíveis para o sistema *on grid* é o medidor bidirecional, que quantifica a energia elétrica, tanto gerada pelas células fotovoltaicas provenientes da instalação do consumidor, quanto fornecida pela rede de distribuição da concessionária, exequível verificar se o consumo da instalação é superior ou inferior ao fornecido pelo sistema de geração. (SOUZA *et al.*, 2018).

3.1 LEI 14300

A Lei 14300/22 que ficou conhecida como “lei de taxação do sol”, foi decretada no dia 07 de janeiro de 2023 no qual houve algumas mudanças nas leis já existentes. A microgeração e minigeração eram reguladas por Resoluções Normativas (RN) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), essas resoluções foram responsáveis pela criação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), concedendo ao consumidor o direito de produzir sua própria energia elétrica, caso a produção excedesse a demanda, essa energia (excedente) seriam introduzidos na rede de distribuição e assim poderiam utilizar em um determinado mês em que a produção não fosse suficiente, isso sem custo.

Essa nova lei, traz várias mudanças, dentre elas, estão, atribuições a Aneel para disponibilizar formulário-padrão para solicitação de microgeração e minigeração distribuída e todas as informações necessárias para a elaboração do projeto solar ao consumidor, já os usuários do (SCEE) que aderiram a partir do dia 07 de janeiro de 2023, iniciou-se a cobrança de uma taxa referente ao excedente injetado na rede, sendo previsto em lei que a transição para esse sistema de taxação aconteça de forma gradativa, aumentando a taxa a cada ano de 15% (quinze por cento) a partir de 2023, de 30% (trinta por cento) a partir de 2024, de 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025, de 60% (sessenta por cento) a partir de 2026, de 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027 e 90% (noventa por cento) a partir de 2028. Já para os clientes que possuíam, as regras só valerão a partir de 2045.

Essa taxa é referente a composição do (TUSD) – relativo ao FIO B que é referente aos custos do uso de infraestrutura da rede de distribuição da concessionária local até chegar às residências. De acordo com a base de dados das tarifas das distribuidoras de energia elétrica ENEL CEARÁ, a taxa do fio b corresponde a 0,28315 reais por KW, equivalente a 46,3% do TUSD, assim, para o ano de 2023, será cobrado 15% de (0,28315 reais) por KW. Exemplo: uma residência com consumo mensal de 100KW/h, irá economizar com o sistema fotovoltaico (100KW x 0,61133reais (custo do TUSD)) = 61,133 reais, com o valor da taxa a ser cobrado, (15% x 0,61133 x 100) = 9,20 reais, assim o retorno do cliente será de 51,93 reais.

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa trata-se de um estudo de caso, é quantitativa, aplicada e exploratória. Terá início com um estudo bibliográfico sobre o tema abordado para dar suporte na escrita do projeto, tendo como apoio também os órgãos e entidades governamentais: Ministério de Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Entidade Nacional de Eletricidade (ENEL), Agência Internacional de Energia (IEA).

Em seguida, faz-se necessária a obtenção do consumo energético das unidades de cada setor, os dados serão solicitados no setor de finanças da prefeitura da cidade de Barro – CE, através de ofício. Os dados consistem nas faturas mensais disponibilizadas pela Entidade Nacional de Eletricidade (ENEL) contendo o consumo em kW/h e a sua composição de valores pagos de todos os setores, durante os últimos 12 meses.

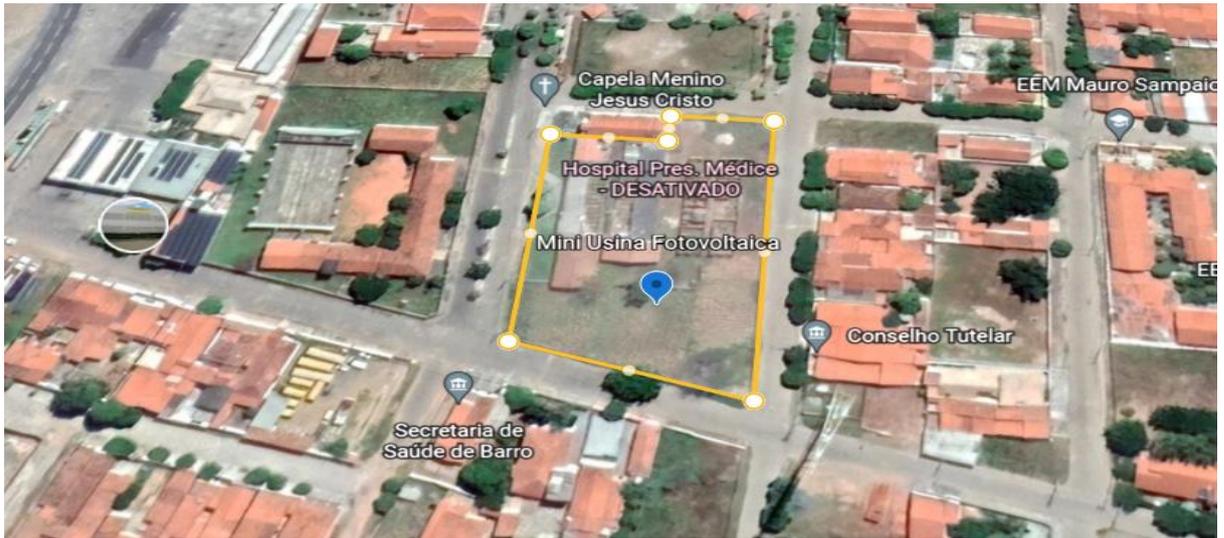
Esses dados serão tabelados e analisados graficamente, permitindo observar a descrição do faturamento: consumo em quantidade de kW/h, preço unitário do kW/h com e sem tributos, ICMS e multas, para assim melhor visualizar a composição.

A partir do consumo em kW/h de todos os setores públicos em estudo, será projetada uma mini usina solar fotovoltaica que atenda a demanda energética desses setores, utilizando *software* AutoCad.

Com o projeto da mini usina solar fotovoltaica, será feito um orçamento de todos os equipamentos necessários para o funcionamento da usina, incluindo a execução, para que seja possível comparar o investimento, dada a durabilidade (vida útil) do projeto em anos, com o valor pago a entidade distribuidora ENEL considerando o mesmo período de tempo e assim analisando a viabilidade da execução do projeto.

Para obter-se a irradiação solar diária e média mensal do possível local de implantação da mini usina fotovoltaica, utilizou-se duas ferramentas: o Google Maps para obtenção das coordenadas geográficas (Latitude: -7.182155538010577 e Longitude: -38.78058962523937), Figura 10, e da ferramenta SunData, que é um programa disponibilizado pela CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito), Figura 11, na qual o programa fornece os dados de irradiação solar para no mínimo 3 localidades disponíveis próximas do ponto de interesse, os valores de irradiação solar são fornecidos em kWh/m².dia no plano horizontal, correspondentes às diárias médias mensais para os 12 meses do ano.

Figura 10 – Local de possível implantação da mini usina fotovoltaica.



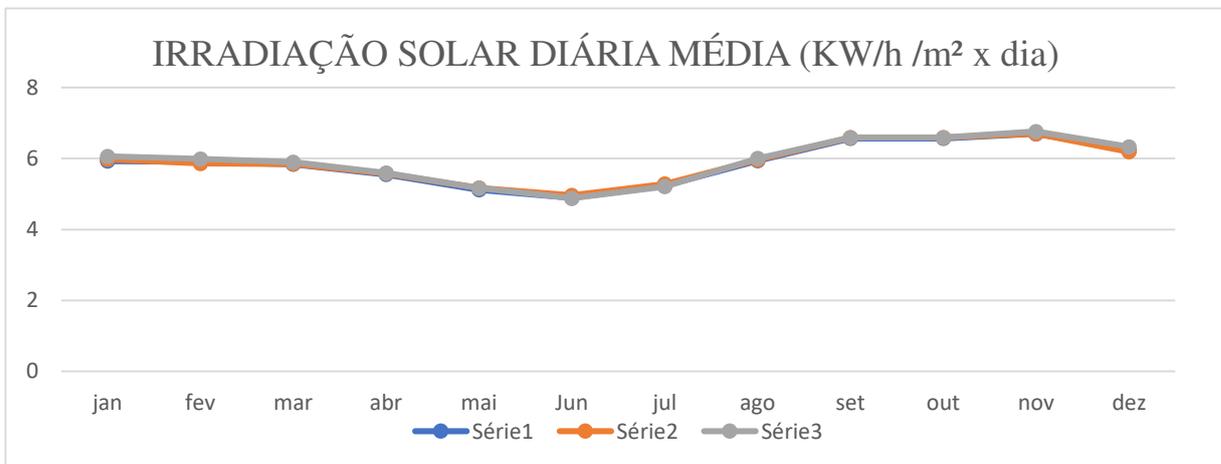
Fonte: Google Earth, 2023.

Figura 11 – Dados de incidência de irradiação solar diária média no local de provável implantação da miniusina e imediações.

Estação	Município	UF	País	IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA (KW/h /m²x dia)																
				Lati[°]	Long[°]	Dist(km)	jan	fev	mar	abr	mai	Jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média	Delta
Barro	Barro	CE	Brasil	7,201°S	38,749°O	4,1	5,93	5,91	5,84	5,55	5,12	4,89	5,23	5,94	6,57	6,57	6,7	6,24	5,87	1,81
Barro	Barro	CE	Brasil	7,201°S	38,849°O	7,8	5,98	5,86	5,85	5,58	5,17	4,96	5,28	5,96	6,59	6,59	6,7	6,19	5,89	1,74
Barro	Barro	CE	Brasil	7,101°S	38,749°O	9,7	6,06	5,99	5,9	5,59	5,17	4,88	5,21	6	6,59	6,59	6,76	6,33	5,93	1,88

LATITUDE 7,182156° S

LONGITUDE 38,78059° O



Fonte: SunData, 2023

4.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO

Com a finalidade analisar o consumo energético das 76 unidades consumidoras pertencentes ao município do Barro – CE, foram obtidos os dados mencionados na Tabela 2 a partir do faturamento referente ao mês de junho de 2022, de suas respectivas instalações, disponibilizado pela distribuidora de energia.

Tabela 2 – Consumo anual e média mensal dos setores consumidores.

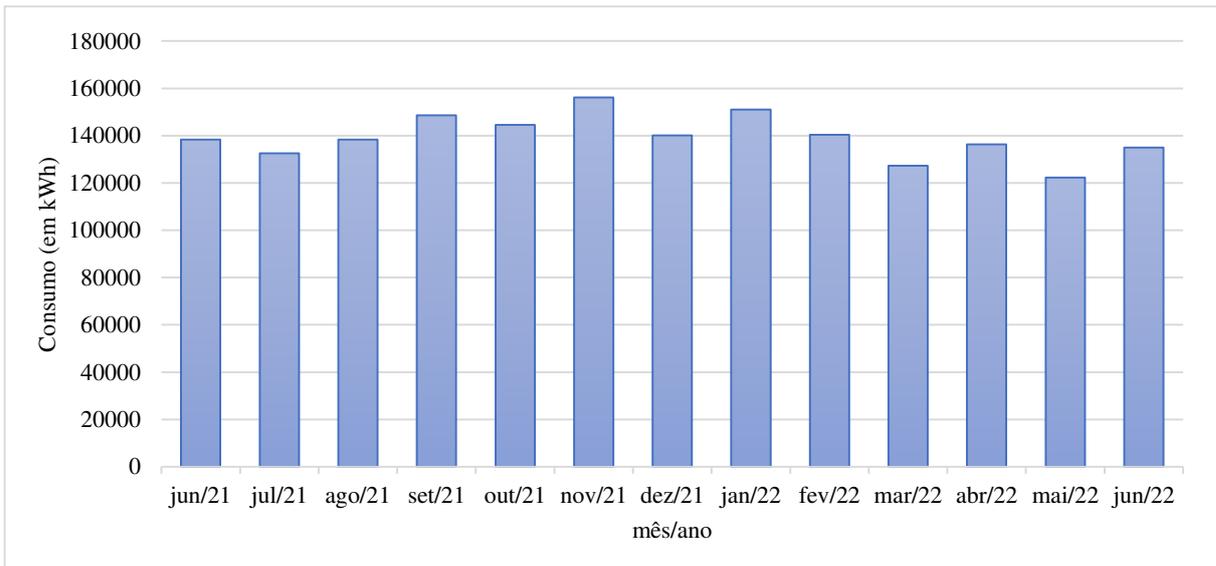
REFERÊNCIA DO CONSUMO	Nº DO CLIENTE	CONSUMO ANUAL EM kWh	CONSUMO MÉDIO MENSAL EM kWh
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52735777	8571	659,31
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52735850	360	27,69
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737818	6597	507,46
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52736235	330	25,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737432	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52738009	895	68,85
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52735957	23683	1821,77
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52736106	360	27,69
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737332	2951	227,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737382	4060	312,31
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737576	349	26,85
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737284	1706	131,23
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737156	100365	7720,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737963	1962	150,92
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52736185	2154	165,69
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737684	5453	419,46
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52737749	6831	525,46
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	49979884	11258	866,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	53491696	120	9,23
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52775129	3274	251,85
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194103	2242	172,46
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	2524471	1235	95,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	192877	2129	163,77
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194088	5889	453,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194061	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	5453371	3343	257,15
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	5283044	1209	93,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	8435094	3913	301,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194091	10869	836,08
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	859524	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	4595823	6020	463,08
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	5282999	10679	821,46
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	2721884	695	53,46
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	2659174	1825	140,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194066	17857	1373,62
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	1222307	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194480	18782	1444,77
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194479	480	36,92
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194014	11731	902,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	2825250	394	30,31

REFERÊNCIA DO CONSUMO	Nº DO CLIENTE	CONSUMO ANUAL EM kWh	CONSUMO MÉDIO MENSAL EM kWh
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	3329658	11289	868,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	3361290	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	779148	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	890206	1300	100,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194467	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194402	642	49,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194471	2205	169,62
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194057	1956	150,46
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194099	1300	100,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194244	1300	100,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	1712172	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	1728331	5818	447,54
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	890205	944	72,62
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194086	1300	100,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	2585905	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	999721	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	984537	12843	987,92
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194080	9687	745,15
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194081	10918	839,85
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	193771	6245	480,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	2898160	390	30,00
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	894387	5793	445,62
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194073	2631	202,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194071	4387	337,46
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	194074	25105	1931,15
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	1586147	146447	11265,15
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	2726626	1129794	86907,23
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	52851397	616	47,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	3516115	22410	1723,85
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	3516144	32700	2515,38
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	3516095	25749	1980,69
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	3516091	22745	1749,62
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	6001863	2630	202,31
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	3164862	22896	1761,23
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	3095603	11041	849,31
JUNHO 2021 / JUNHO 2022	1370687	3180	244,62
		CONSUMO ANUAL EM kWh	COSUMO MENSAL EM kWh
		1810732	139287,0769

Fonte: Autoria própria, 2023.

O Gráfico 1, mostra o consumo médio mensal de 139.287,08 kWh e um consumo anual de 1.810.732,00 kWh, dados referentes ao consumo de cada unidade consumidora no período de um ano.

Gráfico 1 – Consumo mensal de todos os setores (em kWh).



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.1.1 Dimensionamento do projeto

De acordo com as condições padrões de teste (STC), foram consideradas as mesmas condições nas quais os módulos fotovoltaicos são testados em laboratório, que são: intensidade de radiação solar de 1000 W/m², massa de ar de AM 1.5, temperatura da célula de 25 °C e velocidade do vento de 1 m/s.

Para se obter a potência instalada (P_{FV}), utiliza-se a Equação 1:

$$P_{FV} = \frac{E \times G_{STC}}{H_{TOT} \times TD} \quad (1)$$

na qual:

P_{FV} = Potência instalada (Wp);

E = Energia a ser gerada (Wh);

G_{STC} = Irradiação nas STC (1000 W/m²);

H_{TOT} = Irradiação total (Wh/m²);

TD = Taxa de desempenho (PR, *Performance Ratio*), situado entre 0,75 a 0,85 (75% a 85%).

Utilizando a Equação 1 no projeto em questão, temos:

$$E = 139.287,08 \text{ kWh/mês};$$

$$G_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2;$$

$$H_{TOT} = 5,896 \text{ kWh/m}^2.\text{dia} \times 30\text{dias/mês};$$

$$TD = 0,77.$$

$$P_{FV} = \frac{E \times G_{STC}}{H_{TOT} \times TD} = \frac{139.287,08 \times 1000}{5,896 \times 30 \times 0,77} = 1022,70 \text{ kWp}$$

4.1.2 Quantidade, dados e características do módulo fotovoltaico

A quantidade de módulos do sistema fotovoltaico (N_{mod}) é calculada através da Equação 2:

$$N_{mod} = \frac{P_{FV}}{\frac{P_{mod}}{1000}} \quad (2)$$

na qual:

P_{mod} = Potência do módulo

A potência do módulo do sistema fotovoltaico escolhido foi de 590 Wp, foi utilizada a Equação 2 para determinar a quantidade de módulos.

$$N_{mod} = \frac{P_{FV}}{\frac{P_{mod}}{1000}} = \frac{1022,70}{\frac{590}{1000}} = 1734$$

Para o projeto em questão é considerado o fornecimento de módulos de 590 Wp, devido ser um dos mais utilizado atualmente e também por questão de espaço, que serão conectados eletricamente, formando grupos em série e paralelo, a fim de se atingirem os requisitos de tensão e corrente de cada um dos inversores, assim, com essa potência instalada de cada módulo, totaliza-se 1.023 kWp nas condições normais de insolação e temperatura.

A Tabela 3 mostra as especificações do módulo da marca Leapton Solar, que possui 156 células de silício monocristalino PERC Half Cell e pode gerar até 2.360 Wh/dia.

Tabela 3 – Especificações da placa solar.

Marca	Leapton Solar
Modelo	LP182-M-78-MH
Potência Fotovoltaica	590 Wp
Tensão de Curto Circuito	1500 V
Corrente de Operação	13,17 A
Corrente de Curto Circuito	13,94 A
Tensão de Circuito Aberto	53.70V
Tensão Máxima de Operação	44.80V
Número de Células	156 células de Silício Monocristalino
Massa do Módulo	31 kg
Dimensões do Painel	(2443 x 1134 x 35) mm
Eficiência do Módulo	21,30 %
Garantia Linear	25 anos

Fonte: NeoSolar, 2023.

Na Tabela 4, encontram-se descritas as especificações do arranjo.

Tabela 4 – Especificações do arranjo.

Número de série	21
Número de módulos	126
Potência Fotovoltaica de Cada Série	12390
Tensão de Curto Circuito Aberto em Série	1500
Tensão de MPPT Máxima de Cada Série	-
Tensão de MPPT Mínima de Cada Série	-
Área do arranjo: 15 x 24 m ²	360

Fonte: Autoria própria, 2023.

A Tabela 5, mostra-se as especificações do inversor adotado para compor o sistema.

Tabela 5 – Especificações do inversor *on grid*.

Marca	Growatt
Modelo	Max75ktl3-lv
Eficiência	98,8%
Tensão máx. de entrada	1100VCC
Área de tensão MPP	195~1000 VCC
Tensão nominal de entrada	600 VCC
Corrente DC máxima por MPPT	25A
Rastreadores de MPPT	7
Números de arranjos por MPPT	2
Potência nominal de saída	75KW
Tensão nominal trifásico	380V (3NPE)
Frequência nominal	60Hz
Faixa de frequência	54~65
Corrente máx. de saída	112.7A

Fonte: DATASHEET, 2023.

O presente capítulo abordou todas as informações necessárias para o dimensionamento da miniusina. No próximo Capítulo são apresentados os resultados obtidos, bem como as análises relacionadas.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

De acordo com os dados do consumo energético mensal e da irradiação solar do possível local escolhido, foi realizado o dimensionamento da mini usina fotovoltaica, obtendo-se assim, o quantitativo dos insumos necessários para o funcionamento da mesma.

A Figura 12 e 13 em anexos, representa o diagrama elétrico, no qual ilustra as disposições e o detalhamento de todo o sistema.

Dado o dimensionamento quantitativo, fez-se necessário um orçamento dos insumos para que fosse possível analisar a viabilidade do projeto, no qual foi utilizado as fontes SINAPI, ORSE, SEINFRA, dentre outras. As mesmas tiveram como referência o mês de dezembro de 2022. A Tabela 6 apresenta os insumos, quantitativos e valores referentes ao projeto da miniusina.

Tabela 6 – Tabela: Fornecimento e instalação de sistema de geração de energia fotovoltaica 1023 KVA.

	Fonte	Descrição	Un.	Qtde.	Preço - R\$ (Real)		
					Unitário	Total	
1	ADMINISTRAÇÃO DA OBRA E DESPESAS GERAIS					R\$ 229.433,46	
1.1	CREA	ART CREA	und	1	233,94	R\$ 233,94	
1.2	2706	Engenheiro Eletricista	h	528	R\$ 97,67	R\$ 51.569,76	
1.3	2437	Montador Eletromecânico (encarregado)	h	11088	R\$ 16,02	R\$ 177.629,76	
2	EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL					R\$ 6.001,14	
2.1	12893 SINAPI	Bota couro solado de borracha vulcanizado	par	21	R\$ 74,92	R\$ 1.573,32	
2.2	12895 SINAPI	capacete plastico rígido	und	21	R\$ 16,10	R\$ 338,10	
2.3	00941 ORSE	Fardamento com mangas curta	und	21	R\$ 177,63	R\$ 3.730,23	
2.4	S00051 ORSE	Placa de obra em chapa aço galvanizado, instalada	m²	1	R\$ 359,49	R\$ 359,49	
3	EQUIPAMENTOS FOTOVOLTAICOS					R\$ 3.555.717,19	
3.1	NEOSOLAR	PAINEL FOTOVOLTAICO Monocristalino, da Marca Leapton Solar, Modelo LP182-M-78-MH, Potência Fotovoltaica 590 Wp	und	1878	R\$ 1.649,00	R\$ 2.859.366,00	
3.2	MERCADO LIVRE	INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID GROWATT 60KW	und	1	R\$ 23.850,35	R\$ 23.850,35	
3.3	HOGER engenharia	INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID GROWATT 75KW	und	14	R\$ 28.886,25	R\$ 404.407,50	

3.4	NEOSOLAR	CONECTORES FEMEA/ MACHO WEID_CABUR_TE_MC4	und	939	R\$ 14,90	R\$ 13.991,10
3.5	COTA ÇÃO	CABO SOLAR 4MM ATE 1800VCC Preto, ABNT NBR 16612	m	1208	R\$ 6,89	R\$ 8.323,12
3.6	COTA ÇÃO	CABO SOLAR 4MM ATE 1800VCCvermelho, ABNT NBR 16612	und	1208	R\$ 6,89	R\$ 8.323,12
4	INSTALAÇÃO ELÉTRICA					R\$ 41.815,72
4.1	03836/ ORSE	Caixa em chapa metálica galvanizada 60 x 50 x 20cm, para quadro de comando de proteção	und	15	R\$ 525,12	R\$ 7.876,80
4.2	00477/ ORSE	Fornecimento e instalação de chave seccionadora 70a	und	1	R\$ 364,54	R\$ 364,54
4.3	COTAÇÃO	Disjuntor termomagnético tripolar 125 A, padrão DIN,	und	14	R\$ 245,00	R\$ 3.430,00
4.4	08001/ ORSE	Disjuntor termomagnético tripolar 50 A, padrão DIN, curva C, 5KA (Fornecimento e instalação)	und	1	R\$ 106,58	R\$ 106,58
4.5	Cotação	String box, modelo referência: CLAMPER Solar SB 3E/3S	und	15	R\$ 1.309,00	R\$ 19.635,00
4.6	995 SINAPI	Fio de cobre Flexível 16 mm ² , Instalações	und	300	R\$ 16,58	R\$ 4.974,00
4.7	09042/ ORSE	Dispositivo de proteção contra surto de tensão, DPS 40kA - 440v (Fornecimento e instalação)	und	60	R\$ 90,48	R\$ 5.428,80
5	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS (SPDA)					R\$ 37.497,98
5.1	S11975 - ORSE	ABRAÇADEIRA DE ALUMINIO DE 1"	und	80	R\$ 6,22	R\$ 497,60
5.2	00004374 - SINAPI	BUCHA DE NYLON SEM ABA S10	und	160	R\$ 0,44	R\$ 70,40
5.3	00004375 - SINAPI	BUCHA DE NYLON SEM ABA S6	und	200	R\$ 0,12	R\$ 24,00
5.4	00000863 - SINAPI	CABO DE COBRE NU 35 mm ² MEIO-DURO	m	160	R\$ 35,41	R\$ 5.665,60
5.5	00000867 - SINAPI	CABO DE COBRE NU 50 mm ² MEIO-DURO	m	300	R\$ 50,45	R\$ 15.135,00
5.6	00041410 SINAPI	CAPTOR FRANKLIN (4 PONTAS), EM LATAO, CROMADO, H = 300 MM, DUAS DESCIDAS	und	36	R\$ 72,64	R\$ 2.615,04
5.7	S09048 ORSE	Conector de medição	und	20	R\$ 40,84	R\$ 816,80
5.8	11546 - DEINFRA-SC	Eletroduto ferro galvanizado 1"	3m	36	R\$ 21,25	R\$ 765,00
5.9	74.51.21 SUDECAP	Mastro galvanizado 1 1/2"x 3.00m	und	30	R\$ 273,83	R\$ 8.214,90
5.10	6903 ORSE	Parafuso fenda 4,2 x 32mm.	und	100	R\$ 0,49	R\$ 49,00
5.11	I09878 ORSE	Parafuso sextavado rosca soberba 1/4"x50mm	und	60	R\$ 0,43	R\$ 25,80
5.12	MERCADO LIVRE	Sinalizador c/ fotocélula	und	36	R\$ 92,15	R\$ 3.317,40

5.13	ELETRO CENTER	Suporte guia gelcam sgg04/f	und	36	R\$ 5,04	R\$ 181,44	
5.14	MERCADO LIVRE	Suporte isolador sgg 03/c	und	30	R\$ 4,00	R\$ 120,00	
6	ATERRAMENTO					R\$ 692.428,53	
6.1	E00105 - SEDOP	Cabo de cobre nú, bitola 50mm ²	m	2700	R\$ 52,50	R\$ 141.750,00	
6.2	35001509 - COPASA	Alicate para molde de solda exotérmica compatível com cadinho de grafite	und	3	R\$ 84,37	R\$ 253,11	
6.3	TEKY	Acendedor ignitor para solda exotérmica com 12 pç	und	5	R\$ 42,24	R\$ 211,20	
6.4	M102400105 - EMBASA	Haste de terra , d=5/8"x3000mm. Copperweld	und	840	R\$ 75,53	R\$ 63.445,20	
6.5	72251 - SIURB	Cabo de cobre nú, bitola 16mm ²	m	270	R\$ 13,17	R\$ 3.555,90	
6.6	ELETRO CENTER	Molde para solda exotermica tipo "x" para cabo 35 mm ²	und	1	R\$ 228,88	R\$ 228,88	
6.7	ELETRO CENTER	Molde para solda exotermica tipo "t" para cabo 35 mm ²	und	5	R\$ 228,88	R\$ 1.144,40	
6.8	M102950040 - EMBASA	Molde solda haste	und	5	R\$ 147,70	R\$ 738,50	
6.9	13294 - SINAPI	Parafuso sextavado rosca soberba zincado 3/8" x 80mm	und	700	R\$ 1,86	R\$ 1.302,00	
6.10	4718 - ORSE	Caixa de inspeção em pvc 300mm	und	840	R\$ 560,73	R\$ 471.013,20	
6.11	I071889 - SBC	CARTUCHO EM PO PARA SOLDA EXOTERMICA 90/115/150/250	und	50	R\$ 23,51	R\$ 1.175,50	
6.12	MERC.	Solda para cabo 35x16mm ² ou conector 35x16mm ²	und	18	R\$ 12,00	R\$ 216,00	
6.13	09051 - ORSE	Caixa de equalização p/aterramento 20x20x10cm, de sobrepor p/11 terminais de pressão c/barramento	und	16	R\$ 320,84	R\$ 5.133,44	
6.14	I08496 - ORSE	Terminal aéreo em aço galvanizado a fogo h=35cm x 3/8", fixação horizontal e com bandeirinha	und	20	R\$ 5,36	R\$ 107,20	
6.15	I10337 - ORSE	Conector de pressão para cabo nu de 35mm ²	und	150	R\$ 12,00	R\$ 1.800,00	
6.16	I06498 - ORSE	Presilha 1/2"	und	100	R\$ 3,54	R\$ 354,00	
7	INSTALAÇÃO SUBESTAÇÃO ELEVADORA					R\$ 383.286,82	
7.1	11272 - SINAPI	ALCA PREFORMADA DE DISTRIBUICAO, EM ACO GALVANIZADO, AWG 2 (CAA 6/1 OU CA 7 FIOS)	Pc	21	R\$ 6,64	R\$ 139,44	
7.2	379 - SINAPI	ARRUELA QUADRADA EM ACO GALVANIZADO, D = 38 MM, E = 3MM, D FURO= 18 MM	Pc	86	R\$ 1,50	R\$ 129,00	
7.3	11267 - SINAPI	ARRUELA LISA, REDONDA, DE LATAO POLIDO,	Pc	65	R\$ 1,49	R\$ 96,85	

7.4	TEKY	Cabo de aço cobreado 7xNx10 AWG	kg	58	R\$ 103,10	R\$ 5.979,80
7.5	00000841 - SINAPI	CABO DE ALUMINIO NU COM ALMA DE ACO, BITOLA 4 AWG	kg	3	R\$ 47,18	R\$ 141,54
7.6	39249- SINAPI	CABO DE COBRE, FLEXIVEL, CONDUTOR, 0,6/1 KV, SECAO NOMINAL 400 MM2	m	120	R\$ 393,17	R\$ 47.180,40
7.7	00001015 - SINAPI	CABO DE COBRE, FLEXIVEL, CONDUTOR, 0,6/1 KV, SECAO NOMINAL 240 MM2	m	560	R\$ 225,37	R\$ 126.207,20
7.8	WK ELÉTRICA	Cabo Isolado para media tensão 35mm2	m	3	R\$ 117,41	R\$ 352,23
7.9	83488 - SINAPI	Chave de comando Simultaneo tipo Fusivel	Pc	1	R\$ 1.870,28	R\$ 1.870,28
7.10	83489 - SINAPI	Chave de comando Simultaneo tipo Faca	Pc	6	R\$ 2.035,29	R\$ 12.211,74
7.11	00664/ ORSE	Conector p/ haste de aterramento 5/8"	Pc	21	R\$ 5,00	R\$ 105,00
7.12	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Conector cunha tipo I	Pc	4	R\$ 10,41	R\$ 41,64
7.13	I0914/ SEINFRA	Cruzeta 1,70m concreto armado BECO	un	2	R\$ 75,08	R\$ 150,16
7.14	MERC.	Curva de Fe Galvanizado 4 "	Pc	2	R\$ 325,00	R\$ 650,00
7.15	TEKY	Disjuntor nofuse 250A 380V termomagnético	und	1	R\$ 3.059,84	R\$ 3.059,84
7.16	TEKY	Disjuntor nofuse 800A 380V termomagnético	Pc	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
7.17	SCHNEIDER ELECTRIC	Disjuntor PVO	Pc	1	R\$ 31.522,52	R\$ 31.522,52
7.18	ELETROTRAFO	Eletroduto Fe Galvanizado 4 " vara 3 metros	vara	38	R\$ 419,89	R\$ 15.955,82
7.19	TEKY	Elo fusível 10K	Pc	3	R\$ 9,29	R\$ 27,87
7.20	TEKY	Elo fusível 25K	Pc	6	R\$ 10,07	R\$ 60,42
7.21	10889 - SINAPI	Extintor 6Kg		2	R\$ 810,00	R\$ 1.620,00
7.22	I8075 - SEINFRA	Fio de cobre nú 25mm ²	kg	3	R\$ 53,55	R\$ 160,65
7.23	00000402 - SINAPI	GANCHO OLHAL EM ACO GALVANIZADO, ESPESSURA 16MM, ABERTURA 21MM	Pc	9	R\$ 18,11	R\$ 162,99
7.24	C4765 - SEINFRA	ATERRAMENTO COMPLETO C/ HASTE COPPERWELD 5/8"X 2.40M	Pc	18	R\$ 257,01	R\$ 4.626,18
7.25	MERCADO LIVRE	ISOL,APOIO;INTERNO;15KV;GERMER	Pc	3	R\$ 35,00	R\$ 105,00
7.26	00003406 - SINAPI	ISOLADOR DE PORCELANA, TIPO PINO MONOCORPO, PARA TENSAO DE *15* KV	Pc	3	R\$ 26,13	R\$ 78,39
7.27	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Isolador ancora polimérico 15kV	Pc	9	R\$ 73,10	R\$ 657,90
7.28	ELETRONOR	Luva fe galvanizado pesado 3/4"	Pc	2	R\$ 4,46	R\$ 8,92

7.29	MERCADO LIVRE	Luva para haste terra rosqueada 5/8"	Pc	3	R\$ 35,90	R\$ 107,70
7.30	MERCADO LIVRE	Luva PVC 4" Fe Galvanizado	Pc	1	R\$ 57,37	R\$ 57,37
7.31	MAGAZINE LUIZA	Manilha sapatilha para alca preformada 18mm	Pc	9	R\$ 24,59	R\$ 221,31
7.32	I03852 - ORSE	Mufla terminal contratil à frio 12 / 20 Kv	Pc	8	R\$ 987,00	R\$ 7.896,00
7.33	PARAFUSO FÁCIL	Olhal para parafuso de 16mm	Pc	9	R\$ 15,47	R\$ 139,23
7.34	TEKY	Para raio polimérico 12kv 60Hz oxido de zinco	Pc	9	R\$ 240,89	R\$ 2.168,01
7.35	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Paraf maq 16 x 300mm	Pc	45	R\$ 20,60	R\$ 927,00
7.36	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Paraf maq 16 x 350mm	Pc	42	R\$ 23,10	R\$ 970,20
7.37	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Paraf maq 16 x 400mm	Pc	32	R\$ 25,50	R\$ 816,00
7.38	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Paraf maq 16 x 450mm	Pc	45	R\$ 30,10	R\$ 1.354,50
7.39	LOJA ELETRICA LTDA	Porca quadrada para parafuso 16mm	un	52	R\$ 2,21	R\$ 114,92
7.40	MC HIDRÁULICA E ELÉTRICA	Poste 300/12 concreto armado DT tipo D	un	1	R\$ 2.750,00	R\$ 2.750,00
7.41	MERCADO LIVRE	Pino para Isoladores	Pc	9	R\$ 29,00	R\$ 261,00
7.42	MERCADO LIVRE	Punho de manobra	Pc	3	R\$ 149,60	R\$ 448,80
7.43	MERCADO LIVRE	Suporte de fixação para mufla de 15 KV	Pc	2	R\$ 220,00	R\$ 440,00
7.44	MERCADO LIVRE	Terminal concêntrico 3/8" angular	Pc	9	R\$ 41,00	R\$ 369,00
7.45	LOJA ELETRICA LTDA	Terminal concêntrico 3/8" central	Pc	9	R\$ 39,01	R\$ 351,09
7.46	LOJA ELETRICA LTDA	Terminal concêntrico 3/8" união	Pc	9	R\$ 53,50	R\$ 481,50
7.47	COTAÇÃO	Telas de Proteção 2,20 x 2.10	Pc	3	R\$ 2.000,00	R\$ 6.000,00
7.48	COTAÇÃO	Telas de Proteção 2,10 x 2.00	Pc	1	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
7.49	COTAÇÃO	Transformador de distribuição, 150 kva, trifásico, 60 hz, classe 15 kv, imerso em óleo mineral	und	1	R\$ 27.990,25	R\$ 27.990,25
7.50	I2150/ SEINFRA	Transformador de distribuição, 500 kva, trifásico, 60 hz, classe 15 kv, imerso em óleo mineral	und	2	R\$ 32.305,84	R\$ 64.611,68
7.51	4.96.30 - SP Educação	Vergalhão de cobre 3/8"	m	21	R\$ 71,88	R\$ 1.509,48
					SUB TOTAL	R\$ 4.708.724,84

	BDI EQUIPAMENTO (11%)	R\$ 517.959,73
	BDI DO SERVIÇO (27%)	R\$ 63.567,34
	TOTAL	R\$ 5.290.251,91

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Portanto, com todos os resultados obtidos até aqui, a Figura 14 demonstra que o tempo de retorno (*payback*) desse investimento será de, aproximadamente, 3 anos e 3 meses.

Figura 14 – Análise de investimento usina solar, potência 1023 KWP para a cidade de Barro – CE.

ANALISE DE INVESTIMENTO USINA SOLAR POTENCIA 1023 KW, BARRO CEARÁ							
Premissas Consumo X Sistema Solar Cliente		Premissas Tarifa Energia		Análise de Investimento Cliente - K Próprio			
Instalação (kWp)	1023	Previsão Reajustes (a.a.)		Investimento Sistema Solar	R\$	5.290.251,91	
Preço (kWp)	R\$ 5.171,31	2024	36%	Payback (Anos)		3,35	
Distribuidora Local	ENEL	2025	35%	Ganho Total Projeto (R\$)	R\$	33.309.826,92	
Tarifa Distribuidora TE (R\$/kWh)	0,4372	2026	34%	Ganho Total Projeto (%)		630%	
Tarifa Distribuidora TUSD(R\$/kWh)	0,61224	2027	32%				
		2028 -2046	59%				
ANO	Eficiência Módulos FV	Geração Mensal (kWh)	Geração Anual (kWh)	Tarifa fio B (R\$/kWh)	Economia Mensal Estimada (R\$)	Economia Anual Estimada (R\$)	Operação & Manutenção
ANO 01	100%	146698	1760378	R\$ 1,049	R\$ 157.924,94	R\$ 1.895.099,28	R\$ 60.643,18
ANO 02	97,5%	143031	1716369	R\$ 1,049	R\$ 153.724,71	R\$ 1.844.696,52	R\$ 59.030,29
ANO 03	96,8%	142004	1704046	R\$ 1,049	R\$ 151.819,15	R\$ 1.821.829,80	R\$ 58.298,55
ANO 04	96%	134938	1619254	R\$ 1,049	R\$ 141.549,74	R\$ 1.698.596,93	R\$ 54.355,10
ANO 05	95,3%	133954	1607446	R\$ 1,049	R\$ 140.517,61	R\$ 1.686.211,32	R\$ 53.958,76
ANO 06	94,5%	132829	1593953	R\$ 1,049	R\$ 139.338,03	R\$ 1.672.056,35	R\$ 53.505,80
ANO 07	93,9%	131930	1583158	R\$ 1,049	R\$ 138.394,36	R\$ 1.660.732,37	R\$ 53.143,44
ANO 08	93,0%	130721	1568652	R\$ 1,049	R\$ 137.126,31	R\$ 1.645.515,77	R\$ 52.656,50
ANO 09	92,3%	129737	1556845	R\$ 1,049	R\$ 136.094,18	R\$ 1.633.130,17	R\$ 52.260,17
ANO 10	91,5%	128613	1543351	R\$ 1,049	R\$ 134.914,60	R\$ 1.618.975,19	R\$ 51.807,21
ANO 11	90,8%	127629	1531544	R\$ 1,049	R\$ 133.882,47	R\$ 1.606.589,59	R\$ 51.410,87
ANO 12	90,0%	126504	1518050	R\$ 1,049	R\$ 132.702,88	R\$ 1.592.434,62	R\$ 50.957,91
ANO 13	89,3%	125520	1506243	R\$ 1,049	R\$ 131.670,75	R\$ 1.580.049,02	R\$ 50.561,57
ANO 14	88,5%	124396	1492749	R\$ 1,049	R\$ 130.491,17	R\$ 1.565.894,04	R\$ 50.108,61
ANO 15	87,8%	123412	1480942	R\$ 1,049	R\$ 129.459,04	R\$ 1.553.508,44	R\$ 49.712,27
ANO 16	87,0%	122287	1467448	R\$ 1,049	R\$ 128.279,46	R\$ 1.539.353,46	R\$ 49.259,31
ANO 17	86,3%	121303	1455641	R\$ 1,049	R\$ 127.247,32	R\$ 1.526.967,86	R\$ 48.862,97
ANO 18	85,5%	120179	1442148	R\$ 1,049	R\$ 126.067,74	R\$ 1.512.812,89	R\$ 48.410,01
ANO 19	84,8%	119195	1430341	R\$ 1,049	R\$ 125.035,61	R\$ 1.500.427,28	R\$ 48.013,67
ANO 20	84,0%	118071	1416847	R\$ 1,049	R\$ 123.856,03	R\$ 1.486.272,31	R\$ 47.560,71
ANO 21	83,3%	117087	1405040	R\$ 1,049	R\$ 122.823,89	R\$ 1.473.886,71	R\$ 47.164,37
ANO 22	82,5%	115962	1391546	R\$ 1,049	R\$ 121.644,31	R\$ 1.459.731,73	R\$ 46.711,42
ANO 23	81,8%	114978	1379739	R\$ 1,049	R\$ 120.612,18	R\$ 1.447.346,13	R\$ 46.315,08
ANO 24	81%	113854	1366245	R\$ 1,049	R\$ 119.432,60	R\$ 1.433.191,16	R\$ 45.862,12
ANO 25	80,3%	112870	1354438	R\$ 1,049	R\$ 118.400,46	R\$ 1.420.805,55	R\$ 45.465,78
Total de energia Gerada KWh			37.892.413		R\$ 39.876.114,49	R\$ 1.276.035,66	

Fonte: Autoria Própria, 2023.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PESPECTIVAS

Nesse trabalho foi realizado um o dimensionamento de uma mini usina fotovoltaica, com intuito de suprir as necessidades energéticas de 76 prédios públicos municipais da cidade de Barro Ceará. Para tal, realizou-se um estudo de caso e analisou-se as faturas energéticas dos mesmos, a partir do qual foi obtido a demanda energética necessária.

De acordo com o orçamento para implementação da mini usina e o tempo de retorno (*payback*), o projeto mostra-se viável comparado ao valor pago a distribuidora de energia. Em aproximadamente 3,35 anos de uso, o sistema se pagará por completo. Vale destacar a enorme contribuição para o meio ambiente, por se tratar uma fonte energética limpa, e proporciona a não injeção de gás carbônico na atmosfera.

O referido objeto de estudo foi guiado pelas disciplinas de meio ambiente, circuitos elétricos e instalações elétricas prediais nas quais foram tomadas importantes decisões.

Observa-se que não foi dimensionado as estruturas de sustentação e nem foi implementado um seguidor solar na configuração da eficiência na geração, assim servirá como pontos de continuação para estudos futuros.

Este trabalho necessitava de um pouco mais de tempo para obter uma precisão maior tanto na eficiência quanto no orçamento, o fato de conciliar o desenvolvimento deste trabalho com as disciplinas do curso, e também ter sido feito cotação externa para o orçamento, devido à falta de valores nas bases de dados adotadas. Assim, não foi possível dimensionar a estrutura de sustentação e o seguidor solar.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Notícias**. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticias/>. Acesso em: 12 out. 2022.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração distribuída**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 06 out. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto**. Rio de Janeiro, p. 41. 2019.
- BARRA, M. M.; TEIXEIRA, W. C. **Energia Eólica: panorama atual e perspectivas futuras**. Revisão bibliográfica (Linha de pesquisa: Eficiência Energética). Centro universitário Uniacademia, 2022.
- BNDES SETORIAL. **Financiamento**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 1995- Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/22564?mode=full>. Acesso em: 06 out. 2022.
- BOSO et al. **Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no brasil**. Revista Científica ANAP Brasil, São Paulo, Brasil, v. 8, n. 12, p. 57-66, 2015. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/1138/1161. Acesso em: 27 nov. 2022.
- BRASIL. **Ministérios de Minas e Energia**. Geração Distribuída. Brasília, 2022.
- BRASIL. **Ministérios de Minas e Energia**. Resenha Energética Brasileira. Brasília, 2022.
- CANEIRO, Joaquim. **Módulos fotovoltaicos características e associações**. Dissertação (mestrado) – Universidade do Minho - Escola de Ciências Departamento de Física Campus de Azurém, Guimarães, Portugal, 2010. Disponível em: http://repositorium.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%c3%b3dulos%20Fotovoltaicos_Ca racteristicas%20e%20Associa%c3%a7%c3%b5es.pdf. Acesso em 15 jan. 2023.
- CARVALHO, E. F. A.; CALVETE, M. J. F. **Energia solar: Um Passado, um presente... um Futuro Auspicioso**. Revista Virtual Química, Aveiro, Portugal, v. 2, n. 3, p. 192-203, julho – setembro 2010. Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/89/134>. Acesso em: 05 out. 2022.
- CASARO, Marcio Mendes.; MARTINS, Denizar Cruz. **Modelo de arranjo fotovoltaico destinado a análises em eletrônica de potência via simulação**. Eletrônica de potência, Santa Catarina, Brasil, v. 13, n. 03, p. 141-146, 2008. Disponível em: <https://sobraep.org.br/site/uploads/2018/06/rvol13no3p2.pdf1>. Acesso em: 17 jan. 2023.
- CHESF. **Companhia hidro elétrica do são Francisco: sistemas de geração**, 2022. Disponível em: <https://www.chesf.com.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/SistemasGeracao.aspx>. Acesso em: 08 nov. 2022.

DOS SANTOS, J. S.; DA SILVA, P. C.; LIRA, M. A. T.; DE MORAES, A. M.; **Análise de desempenho de dois sistemas fotovoltaicos utilizando inversor string e micro inversor na cidade de Teresina-Pi**. 2022. Universidade Federal do Piauí, Departamento de Engenharia Elétrica, Piauí, Brasil. Disponível em:

<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1233/1233>. Acesso em: 17 jan. 2023.

ENEL. Entidade Nacional de Eletricidade. **A transição energética**. 2022. Disponível em:

<https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/transicao-energetica>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ENEL. Entidade Nacional de Eletricidade. **Energia Verde: O presente e o futuro da**

eletricidade. 2022. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/renewable-energies>. Acessado em: 25 set. 2022.

ENEL. Entidade Nacional de Eletricidade. **Geração distribuída**. 2022. Disponível em:

https://www.enel.com.br/pt-ceara/Corporativo_e_Governo/Geracao_Distribuida.html. Acesso em: 06 out. 2022.

ENEL. Entidade Nacional de Eletricidade. **Módulo fotovoltaico**. 2023. Disponível em:

<https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveveis/energia-solar/modulo-fotovoltaico>. Acessado em: 15 jan. 2023

ENERGIA BRASIL. **7 incentivos governamentais para quem usa energia solar, 2022**.

Disponível em: <https://portalenergiabrasil.com.br/category/noticias/>. Acesso em: 12 out. 2022.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Balanco energético nacional (BEN) 2016: Ano base**

2015, 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 25 set. 2022.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Balanco Energético Nacional (BEN) 2016: Ano base**

2015, 2016. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 25 set. 2022.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Meio ambiente**. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/meio-ambiente>. Acesso em: 04 out. 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Mudanças climáticas e Transição energética**.

Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>. Acesso em: 14 nov. 2022.

IEA [INTERNATIONAL ENERGY AGENCY]. **Combustíveis e tecnologias**. Disponível

em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies>. Acesso em: 04 de out. 2020.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Investimento em energia em 2022**.

Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022/overview-and-key-findings>. Acesso em: 14 nov. 2020.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos**

Autônomos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa

Maria. Santa Maria, RS – Brasil, p. 145, 2007.

IRENA. Agência Internacional para as Energias Renováveis. **Classificação de Países com Maior Capacidade de Energia Solar Instalada em 2020**. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. Acesso em: 18 nov. 2022.

KRELL, Andreas Joachim; SOUZA, Carolina Barros de Castro. **A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável**. Revista de Direito Econômico e Socioambiental, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 157-188, maio/ago. 2020.

LEWANDOSKI, C. F.; REGINALDO, F. S.; SIO, J. P. M. K.; ALMEIDA, M.; IKPEHAI, A. The Advantages Of Solar Tracker. **Intenational Journal of Environmental Resilience Research and Science**, v. 3, n. 1, p. 31-46, 2021.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. **Energia solar fotovoltaica: Uma breve revisão**. Revista Virtual Química, Niterói - RJ, Brasil, v. 7, n. 1, p. 126-143, janeiro-fevereiro 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664/508>. Acesso em: 05 out. 2022.

NEOSOLAR. Distribuidora de produtos para energia solar off grid. **Placa solar fotovoltaica: tudo sobre**. 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/empresa-energia-solar>. Acessado em: 15 jan. 2023.

NEOSOLAR. **Inversor Grid Tie**. 2022. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/inversor-grid-tie>. Acesso em: 27 nov. 2022.

NEOSOLAR. **Microinversor solar: o que é micro inversor**. 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor#diferenca-microinversor-inversor-string>. Acesso em: 17 jan. 2023.

NETO, Giovani Zanetti.; COSTA, Wagner Teixeira da.; VASCONCELOS, Vinicius Belmuds. **A resolução normativa nº 482/2012 da Aneel: possibilidades e entraves para a microgeração distribuída**. Revista Brasileira de Energia Solar, IFES – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Serra, Coordenadoria de Automação Industrial, v.5, n.2, p. 119 – 127, dez. 2014. Disponível em: <https://rbens.org.br/rbens/article/download/115/115>. Acessado em 01 dez. 2022.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de

PORTALSOLAR. **História e origem da Energia Solar**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>. Acesso em: 18 nov. 2022.

PORTALSOLAR. **Placa de energia solar: modelos, preços e como escolher**. 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/modelos-de-placa-solar.html>. Acesso em: 16 jan. 2023.

PORTALSOLAR. **Sistema solar on grid (conectado à rede)**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>. Acesso em: 25 nov. 2022.

RESENDE, Carlos. **Como funcionam os sistemas fotovoltaicos off grid**. 2019. Disponível em: <https://www.shareenergy.com.br/como-funcionam-os-sistemas-fotovoltaicos-off-grid/>. Acesso em: 27 nov. 2022.

Resolução Normativa nº 482/2012 de 17 de abril de 2012. 2012 B. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 01 dez. 2022.

Resolução Normativa nº 687/2015 de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.

ROSA, Anna Clara do Prado.; FASSARELLA, Rafael Neves.; COSMO, Rafael de Paula. **Sistemas conectados grid-tie atrelados a sfv alocados a realidade de redes inteligentes no brasil**. Revista esfera tecnológica, v.06, n.2, p. 79 – 98, 2022. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2022/02/revista-esfera-tecnologia-v06-n02-artigo04.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SCHOLTEN, D; BOSAMAN, R. (2013), **The Geopolitics of Renewable Energy**: a mere Shift of lanslide in energy dependencies. Disponível em: <http://www.drift.eur.nl/wp-content/uploads/2013/11/Scholten-and-Bosman-2013-Geopolitics-of-Renewables.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

SILVA et al. A importância da biomassa na matriz energética brasileira. **Pensar acadêmico**. Manhuaçu, v. 19, n. 2, p. 557-583, maio-setembro, 2021.

SILVA et al. **New solar energy technology trends**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, Brasil, v. 8, n. 8, p. 55730 – 55750. Agosto, 2022. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/download/50927/38250>. Acesso em: 27 nov. 2022.

SILVA, H. M. F.; ARAÚJO, F. J. C. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Uma Revisão Bibliográfica**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v.8, n.03, p. 859 – 869, mar. 2022. Disponível em: <https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/4654/1751>. Acessado em 18 nov. 2022.

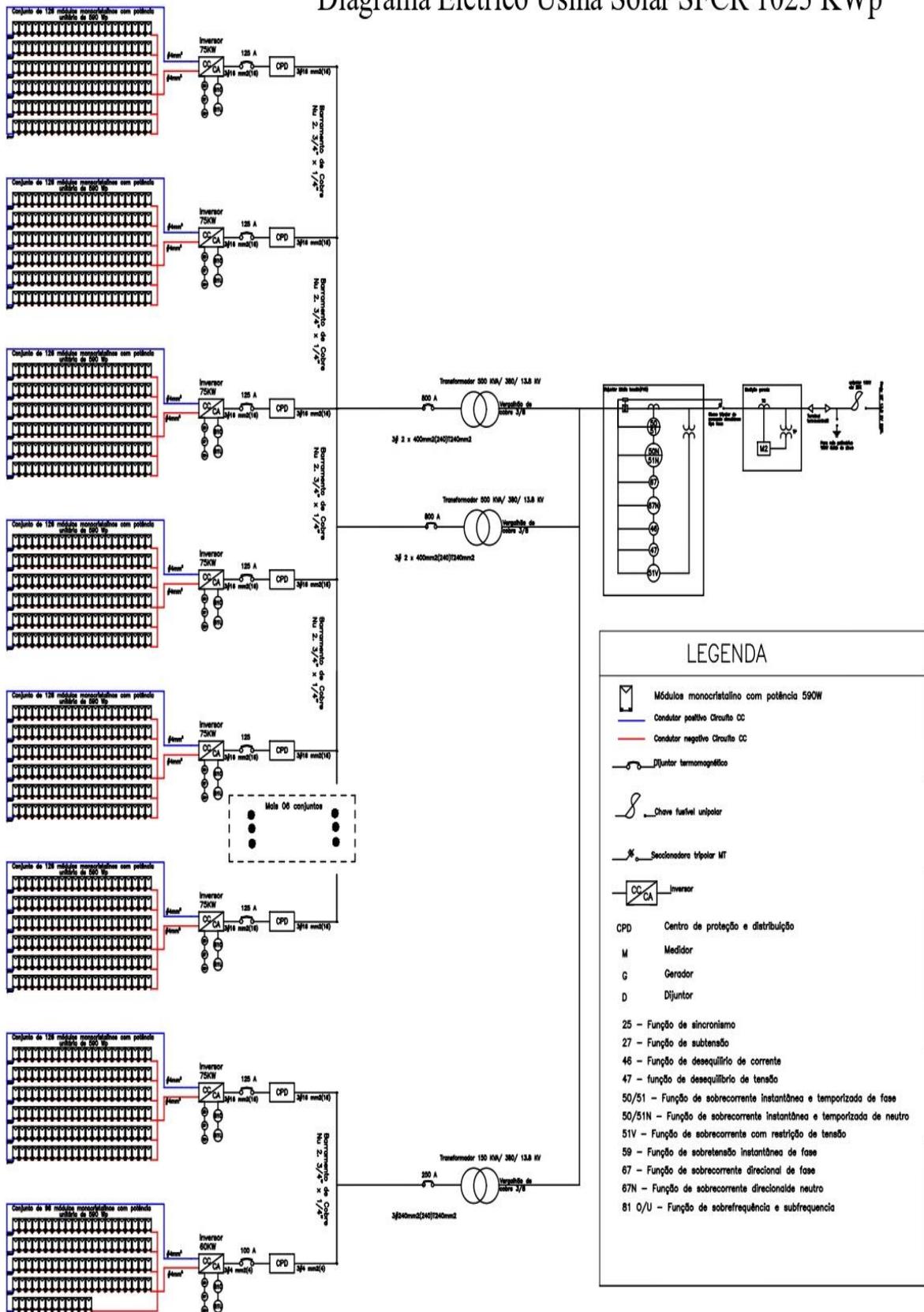
SOUZA, W.; LANNES, L. R. L.; MARIA, W.; FREITAS, R. M. **Estudo de viabilidade da implantação de um sistema de micro geração de energia fotovoltaica para facthus**. 2018. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil. Disponível em: https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/artigos/artigo_297.pdf Acesso em: 17 jan. 2023.

UNEP. UN Environment Programme. **Tendências Globais em Investimento em Energia Renovável 2019**. Disponível em <https://www.unep.org/resources/report/global-trends-renewable-energy-investment-2019>. Acesso em: 18 nov. 2022.

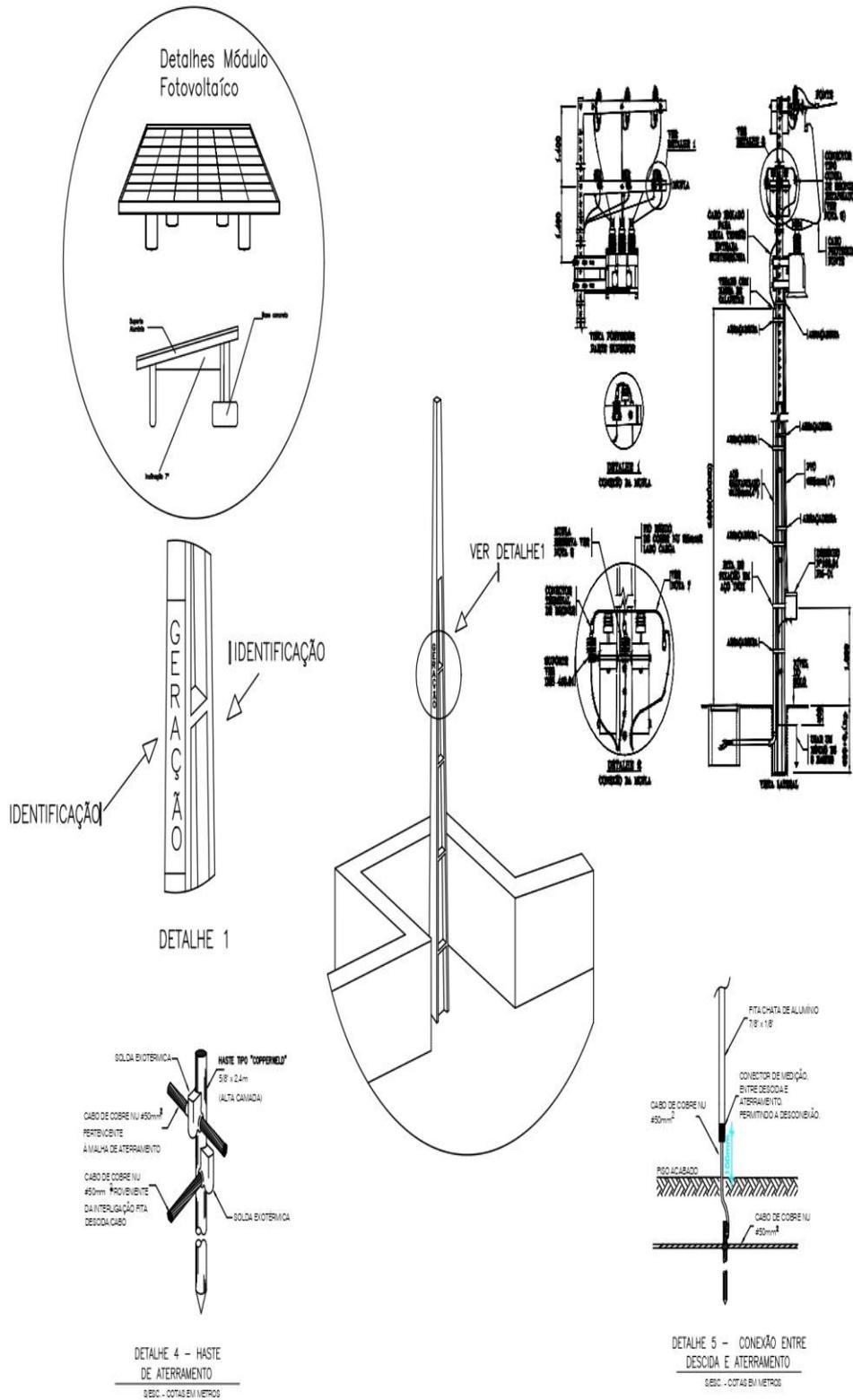
ZHANG, Zhiliang; HE, Xiao-Fei; LIU, Yan-Fei. An optimal control method for photovoltaic grid-tied-interleaved flyback microinverters to achieve high efficiency in wide load range. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 28, n. 11, p. 5074-5087, 2013.

ANEXO A: Figura 12 – Diagrama Elétrico Usina Solar SFCR 1023 KWp para cidade de Barro – CE.

Diagrama Elétrico Usina Solar SFCR 1023 KWp



ANEXO B: Figura 13 – Detalhamento da miniusina fotovoltaica para cidade de Barro – CE.





Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

ENTREGA DE TCC

Assunto: ENTREGA DE TCC
Assinado por: Cicero Lusdenio
Tipo do Documento: Anexo
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Cicero Lusdênio Souza Ferreira, ALUNO (201512200549) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS**, em 13/03/2023 13:03:07.

Este documento foi armazenado no SUAP em 13/03/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 776163
Código de Autenticação: b5ecd2c5ae

