



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CARAÚBAS
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SAULO GABRYEL ALVES DE ALMEIDA

**POTENCIALIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MICRO USINA
FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR
E EMPRESAS DO SETOR**

CARAÚBAS-RN

2022

SAULO GABRYEL ALVES DE ALMEIDA

**POTENCIALIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MICRO USINA
FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR
E EMPRESAS DO SETOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido -
UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção
do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Jennef Carlos Tavares –
UFERSA

CARAÚBAS-RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A447 Almeida, Saulo Gabryel Alves de .
POTENCIALIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MICRO
USINA FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR E EMPRESAS DO SETOR /
Saulo Gabryel Alves de Almeida. - 2022.
54 f. : il.

Orientador: Jennef Carlos Tavares.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Energia renovável. 2. Painéis
Fotovoltaicos. 3. Matriz energética. 4. Potência
instalada. I. Tavares, Jennef Carlos, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

SAULO GABRYEL ALVES DE ALMEIDA

POTENCIALIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MICRO USINA
FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR E
EMPRESAS DO SETOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendido em: 04/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Jennef Carlos Tavares (UFERSA)
Presidente

Prof. Me. Daniel Carlos de Carvalho Crisostomo (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dr. Rafael Luz Espindola (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo privilégio da vida e da saúde, por me dar a força necessária para enfrentar todas as dificuldades, e por me permitir realizar este, que é apenas mais um de muitos sonhos que possuo.

Agradeço a toda minha família, em especial a minha mãe Sâmara Danielly, aos meus avós Francisco Lúcio e Francisca Leite, ao meu tio e sua esposa, Silas Daniel e Denise Raquel, e ao meu padrasto Raul David, por todo o amor, a paciência, e pelos conselhos e ensinamentos que foram necessários para eu ser a pessoa que sou hoje.

Agradeço aos meus irmãos, Lis Helena, Lizie Helen, Maria Lara, Paulo Neto e Nairo Haryman, por me inspirar a ser uma pessoa melhor a cada dia, pois um dos maiores motivos da minha dedicação aos estudos é poder servir como um exemplo, para que eles possam ter orgulho de mim, se inspirar pelos caminhos que trilhei, e possam no futuro andar pelos mesmos caminhos.

Agradeço ao meu professor e grande amigo Jennef Carlos, não só pela orientação, mas pela paciência, companheirismo, pelos ensinamentos, conselhos e por servir de inspiração para mim e para muitos outros alunos. Os ensinamentos e lições que adquiri com você serão levados para toda minha vida.

Agradeço também aos amigos que fiz nesta longa jornada até aqui, as pessoas de Marcus Paulo, Lavoisier Neto, Franklyn Alves, Carlos Ernane, Rafael Gonçalves, Leonardo Guimarães, Carlos Henrique, Adriel Soares, Robson Santos, Rômulo Antunes, Ruan Guedes, João Luiz e as muitas outras pessoas que me ajudaram no meu progresso ao decorrer do curso e na minha formação como pessoa.

Quero agradecer também a minha namorada Mona Lídghya, por todo seu amor, carinho, paciência, atenção, por permanecer ao meu lado nos momentos mais difíceis, e por me ensinar que eu posso acreditar em mim e que se eu der o meu máximo nos meus objetivos tudo dará certo. A minha jornada ainda está no começo, já conquistei muitas coisas, e irei conquistar muito mais ao seu lado.

Agradeço a banca examinadora pela disponibilidade para a avaliação do trabalho e a instituição UFERSA por tudo que aprendi nesta universidade.

RESUMO

O Brasil encontra-se com maior parte de sua matriz elétrica constituída de fontes hidráulicas, logo, compreende-se que é necessário para o país a diversificação e implementação de novas fontes de energia. Porém, observando o cenário mundial de uso excessivo de combustíveis fósseis, entende-se que a diversificação da matriz energética brasileira deve ser feita com a utilização de fontes de energia que possuam baixos níveis de poluição ao meio ambiente. O presente trabalho consiste em analisar o crescimento das instalações fotovoltaicas com base em empresas do setor solar que possuem instalações e prestam atendimento na cidade de Caraúbas-RN, bem como, a elaboração de um estudo de caso, de um sistema fotovoltaico para uma residência unifamiliar localizada na cidade de Caraúbas-RN. Estudou-se o crescimento dos sistemas fotovoltaicos a partir do número de projetos e da potência instalada no primeiro e no último ano de cada empresa, e para o estudo de caso foi efetuada a análise de viabilidade técnica e da implantação da micro usina fotovoltaica. As três empresas, nomeadas como A, B e C, mostraram significativo crescimento, no qual em 2021 apresentou-se como o ano de maior avanço dos sistemas fotovoltaicos e 2022 demonstrou-se como um ano de pequeno declínio no avanço das instalações, no qual a empresa B, para este ano, mostrou uma quantidade de projetos e potência instalada inferiores ao seu ano de abertura, no entanto, as empresas A e C permaneceram mostrando resultados crescentes. A partir do obtido, concluiu-se que os empreendimentos demonstraram progresso, o que mostra que a região nordeste do Brasil possui relevante potencial para o uso de usinas fotovoltaicas, uma vez que dispõe da maior incidência de irradiação solar do país. Para o estudo de caso, constatou-se que o sistema dimensionado para a residência se mostra viável, tanto tecnicamente quanto economicamente, visto que o investimento apresenta um tempo de retorno estimado de 3 anos, e os conjuntos fotovoltaicos possuem longa vida útil, podendo funcionar por mais de 25 anos.

Palavras Chave: Energia renovável. Painéis Fotovoltaicos. Matriz energética. Potência instalada.

ABSTRACT

Brazil has most of its electrical matrix made up of hydraulic sources, so it is understood that it is necessary for the country to diversify and implement new energy sources. However, observing the world scenario of excessive use of fossil fuels, it is understood that the diversification of the Brazilian energy matrix must be done with the use of energy sources that have low levels of pollution to the environment. The present work consists of analyzing the growth of photovoltaic installations based on companies in the solar sector that have facilities and provide service in the city of Caraúbas-RN, as well as the elaboration of a case study, of a photovoltaic system for a single-family residence, located in the city of Caraúbas-RN. The growth of photovoltaic systems was studied based on the number of projects and the installation power in the first and last year of each company, and for the study, an analysis of technical feasibility and the implementation of the photovoltaic micro plant was carried out. The three companies, named A, B and C, showed significant growth, in which 2021 presented itself as the year of greatest advancement of photovoltaic systems and 2022 proved to be a year of small decline in the advancement of installations, in which company B, for this year, showed a lower number of projects and installed power than in its opening year, however, companies A and C continued to show increasing results. Based on what was obtained, it was concluded that the projects showed progress, which shows that the northeast region of Brazil has relevant potential for the use of photovoltaic plants, since it has the highest incidence of solar irradiation in the country. For the case study, it was found that the system designed for the residence is viable, both technically and economically, since the investment has an estimated payback time of 3 years, and the photovoltaic sets have a long useful life, being able to work for over 25 years.

Keywords: Renewable energy. Photovoltaic panels. Energy matrix. Installed power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema elétrico de potência.....	16
Figura 2 – Célula fotovoltaica	17
Figura 3 – Efeito Fotovoltaico.....	17
Figura 4 – a) Células conectadas em série, b) Células conectadas em paralelo	19
Figura 5 – Configuração de um sistema fotovoltaico.....	22
Figura 6 – Sistema isolado	23
Figura 7 – Sistema conectado à rede	23
Figura 8 – Sistema híbrido	24
Figura 9 – Fluxograma da pesquisa.....	32
Figura 10 – Localização de Caraúbas no Rio Grande do Norte	34
Figura 11 – Fluxograma do dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	35
Figura 12 – Gráfico do número de projetos das empresas	40
Figura 13 – Potência instalada das empresas	40
Figura 14 – Geração de energia anual estimada	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de energia.....	26
Tabela 2 – Dados do módulo fotovoltaico.....	43
Tabela 3 – Dados do inversor	44
Tabela 4 – Equipamentos utilizados	47

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABRACEEL	Associação Brasileira de Comercializadores de Energia
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DC	Direct Current
kW	quilo-Watts
kWh	quilo-Watt-hora
kWh/m ² .ano	quilo-Watt-hora por metro quadrado-ano
kWh/m ² .dia	quilo-Watt-hora por metro quadrado-dia
LABREN	Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis e Energia
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MW	Mega-Watts
MWp	Mega-Watts-pico
TW	Tera-Watt
TWh	Tera-Watt-hora
V A	Voltampere
W	Watt
Wh	Watt-hora
Wp	Watt-pico
W/m ²	Watt por metro quadrado
%/C°	por cento por grau celsius

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	OBJETIVO GERAL	14
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1.	RECURSO SOLAR.....	15
3.2.	SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA.....	15
3.3.	EFEITO FOTOVOLTAICO	16
3.3.1.	Tipos de células fotovoltaicas	18
3.4.	MÓDULOS SOLARES.....	18
3.4.1.	Classificação de módulos solares.....	19
3.4.2.	Fatores que afetam as características elétricas dos módulos	20
3.4.2.1.	Intensidade luminosa e temperatura	20
3.4.2.2.	Sombreamento de módulos fotovoltaicos conectados em série	20
3.4.2.3.	Poeira e Sujeira.....	21
3.5.	COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	21
3.6.	TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	22
3.6.1.	Sistemas isolados.....	22
3.6.2.	Sistemas conectados à rede	23
3.6.3.	Sistemas híbridos.....	23
3.7.	CONSIDERAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
3.7.1.	Etapas preliminares do dimensionamento de um projeto fotovoltaico	25
3.7.2.	Consumo de energia	25
3.7.3.	Adequabilidade do local.....	26
3.8.	DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE.....	27
3.8.1.	Dimensionamento do número de painéis fotovoltaicos	27
3.8.2.	Dimensionamento dos inversores.....	29
3.8.2.1.	Fator de dimensionamento	29
3.8.2.2.	Tensão de entrada	29
3.8.2.3.	Faixa de tensão de operação do inversor	30
3.8.2.4.	Corrente máxima CC do inversor	30
4.	METODOLOGIA	32

4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	32
4.2.	LOCAL DE ESTUDO.....	33
4.3.	EMPRESAS ESTUDADAS	34
4.4.	ESTUDO DE CASO: RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR	35
4.4.1.	Caracterização da localização e adequabilidade da residência.....	36
4.4.2.	Definição e cálculo de consumo do sistema fotovoltaico	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1.	CRESCIMENTO DAS INSTALAÇÕES SOLARES COM BASE EM EMPRESAS QUE ATUAM NA CIDADE DE CARAÚBAS-RN.....	37
5.1.1.	Empresa A.....	37
5.1.2.	Empresa B	38
5.1.3.	Empresa C.....	39
5.1.4.	Análise Geral.....	39
5.2.	ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR	42
5.2.1.	Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos	42
5.2.2.	Dimensionamento do Inversor	44
5.2.2.1.	Fator de dimensionamento do Inversor	45
5.2.2.2.	Tensão máxima de entrada.....	45
5.2.2.3.	Tensão de operação do inversor.....	46
5.2.2.4.	Corrente máxima CC para o inversor.....	47
5.2.3.	Projeto do sistema fotovoltaico	47
6.	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a evolução da sociedade estão estreitamente relacionados ao uso das diversas formas de energia (DIAS; BOROTNI; HADDAD, 2005). Desta forma, para que as necessidades da sociedade moderna sejam corretamente atendidas, seja no âmbito laboral ou pessoal, se faz necessário o ideal planejamento de um sistema elétrico que seja capaz de suprir a demanda imposta pelas atividades humanas de modo eficiente.

Em virtude do desenvolvimento tecnológico, industrial e do aumento da população mundial, a sociedade atual têm vivenciado um aumento da demanda de energia elétrica (TORRES, 2012). Por este motivo, tornou-se necessário o crescimento da matriz energética mundial, que ao longo do tempo desenvolveu-se para um uso majoritário de fontes de energia primária não renováveis, como por exemplo petróleo, gás natural e carvão mineral, que segundo Moreira (2021) representam 80% da matriz energética mundial.

O Brasil, de maneira oposta a diversos países do mundo, possui uso significativo de fontes de energias renováveis, com estas constituindo 44,8% da matriz energética do país, com destaque para as fontes hidráulicas, que são responsáveis por 11%. Este uso predominante de fontes renováveis apresenta impacto na geração de energia elétrica do Brasil, uma vez que 53,4% da matriz elétrica do país é constituída de fontes hídricas (EPE, 2022).

De acordo com o Pereira *et al* (2017), apesar de serem fontes de energia limpa, o uso majoritário da energia de fontes hídricas torna-se não desejável para o país do ponto de vista socioeconômico. Isto se dá pelo fato desta fonte estar suscetível a impactos climáticos, o que pode ocasionar em uma escassez dos recursos de produção em períodos de seca, e em decorrência disto, gerar uma diminuição da oferta e um aumento no preço da energia. Além disso, nos períodos de falta de água, esta será usada em sua maioria para a produção energética, impactando de forma crítica o uso para outros fins como agricultura ou abastecimento.

Dadas as características da situação energética brasileira, entende-se que é necessário para o país investir em uma maior diversificação de sua matriz, porém estas mudanças devem ocorrer de modo a dar ênfase as fontes de energia renováveis e a eficiência energética, onde se deve priorizar a redução de impactos socioambientais e o incentivo ao uso racional da energia (SILVEIRA, 2018).

A fonte de energia renovável que apresenta maior crescimento no mercado brasileiro na atualidade é a energia solar. Segundo informações da ABSOLAR (2022), no ano de 2021 o Brasil chegou a marca de 720 mil sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede, a entidade

também informa que no ano de 2022 projeta-se que o setor solar possa atrair mais de R\$ 50,8 bilhões em investimentos.

Um dos principais fatores para a viabilidade da implantação de usinas fotovoltaicas no Brasil é o seu alto índice de irradiação solar em comparação a outros países (ROSA; GASPARIN, 2016), com destaque para a região Nordeste, que segundo Pereira *et al* (2017), apresenta a maior irradiação do país.

Logo, pode-se afirmar que o incentivo ao uso da energia solar no Brasil pode mostrar-se benéfico para o país, pois as usinas fotovoltaicas podem apresentar-se como uma forma de evitar o uso de usinas térmicas, diversificando a matriz energética do país com uma fonte de energia limpa, de modo a aliviar a demanda das fontes hídricas (RELLA, 2017).

Desta forma, alguns estudos têm analisado a potencialidade da instalação de usinas fotovoltaicas. Pereira (2017), estudou a viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico em um aeroporto localizado em Macaé – RJ; Melo (2020) analisou a potencialidade de implementação um projeto fotovoltaico no Estádio Aderbal Ramos da Silva; e Souza Bessa e Silva (2018), realizou um estudo da viabilidade técnica da instalação de uma micro usina fotovoltaica para a iluminação da praça Tiradentes na cidade de Teófilo Otoni–MG. Algumas pesquisas também têm analisado a energia solar no contexto socioeconômico, como por exemplo, Gasparin *et al* (2022), que realizou o estudo da influência de políticas públicas para o progresso da geração solar fotovoltaica e diversificação da matriz energética brasileira.

Isto posto, dada a notável irradiação solar incidente na região Nordeste do Brasil e a situação energética na atualidade, se faz necessário o estudo do crescimento das instalações fotovoltaicas e seus impactos causados, utilizando como base empresas do setor solar que atuam na cidade de Caraúbas-RN, bem como, um estudo de caso onde será analisada a viabilidade técnica da instalação de uma micro usina fotovoltaica em uma residência unifamiliar localizada na cidade de Caraúbas-RN.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo analisar o crescimento dos sistemas fotovoltaicos e um estudo de caso em uma residência unifamiliar com base em empresas do setor que atuam na cidade de Caraúbas-RN.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o avanço das instalações solares feitas pelas empresas objeto de estudo.
- Buscar, para o caso proposto, um sistema fotovoltaico que apresente ideal funcionamento de modo a suprir totalmente a demanda energética da residência.
- Averiguar, com as condições encontradas a viabilidade técnica da implementação do sistema fotovoltaico dimensionado.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. RECURSO SOLAR

O sol é a fonte energética mais importante para o planeta, pois é imprescindível para quaisquer processos climáticos naturais e para a geração de calor e luz. Desta forma, o sol pode ser considerado a fonte primária de energia, pois toda a matriz energética necessária tanto para as atividades humanas quanto para a sobrevivência animal e vegetal é suprida de algum modo pela energia solar (MOREIRA, 2021).

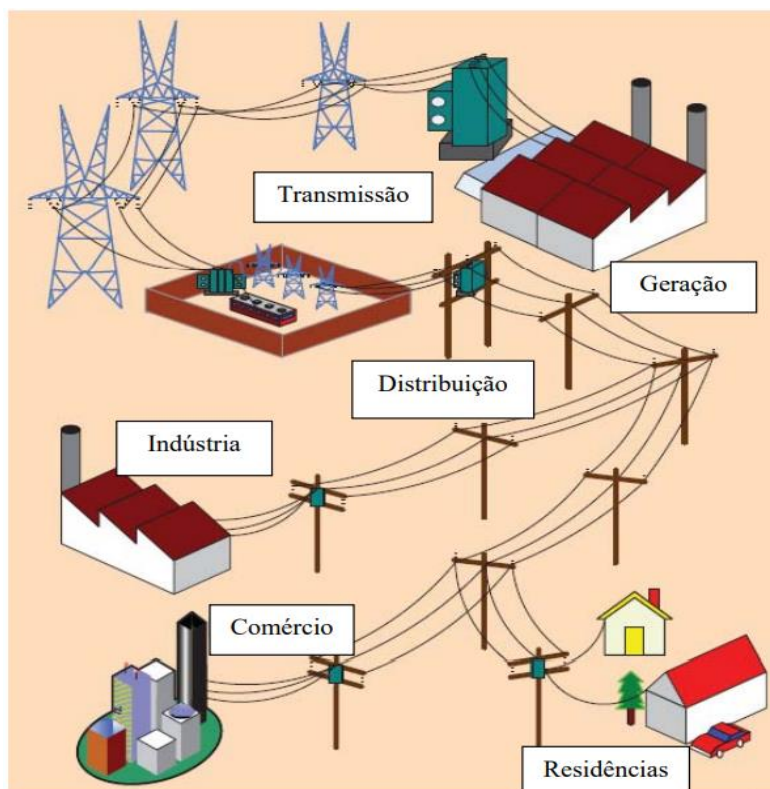
Nas camadas mais internas do sol acontecem várias reações nucleares, responsáveis pela origem das emissões que se propagam por todo o sistema solar (energia solar), que são, de acordo com a lei da irradiação com simetria esférica, difundidas na forma de radiação eletromagnética (VIAN *et al.* 2021).

A atmosfera da terra é atingida de forma anual por cerca de 3×10^{24} J, ou seja, $9,5 \times 10^4$ TW de energia proveniente do sol, este valor correspondente a cerca de 10000 vezes o consumo mundial de energia em um ano (MACHADO; MIRANDA, 2014). Dado o exposto, é possível afirmar que além de ser imprescindível para a vida terrestre, o sol também é uma fonte inesgotável de energia, com grande potencial para ser utilizada com sistemas de captação e transformação energética (CRESESB, 2008).

3.2. SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

Entende-se como sistema elétrico de potência todo conjunto que tem como principal finalidade fornecer energia elétrica para seus usuários (sejam estes pequenos ou grandes), oferecendo-a com a devida qualidade e no instante de sua solicitação. Em outras palavras, esse sistema tem a função de produzir, transformando a energia de certa natureza (mecânica, térmica, hidráulica, entre outras) em elétrica, e distribuir, provendo ao consumidor a quantia de energia solicitada a cada instante (KAGAN; OLIVEIRA; ROBBA, 2000).

Os sistemas elétricos de potência são constituídos por três etapas principais, e estas são: à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica respectivamente (ZANETTA, 2006), tendo seu esquema de funcionamento como pode exemplificado pela Figura 1.

Figura 1 – Sistema elétrico de potência

Fonte: Pomilio *et al* (2021).

3.3. EFEITO FOTOVOLTAICO

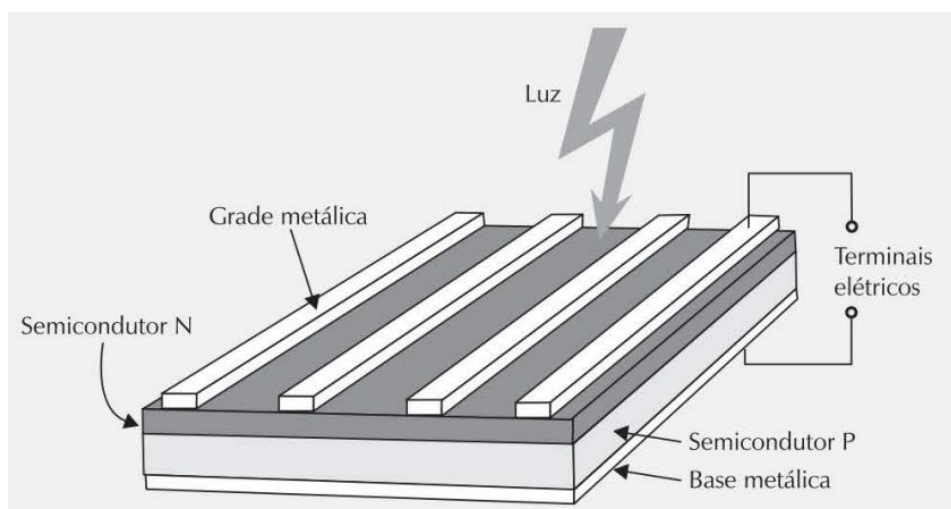
No ano de 1839, foi verificado pela primeira vez a conversão de energia solar em energia elétrica por Edmond Becquerel, que constatou uma diferença de potencial nos terminais da estrutura de um material semicondutor quando exposto a luz. O primeiro aparato fotovoltaico foi montado em 1876, e sua produção industrial teve início somente no ano de 1956 (CRESESB, 2008).

O fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade denomina-se como efeito fotovoltaico, e ocorre quando a radiação eletromagnética solar incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas, que tem por nome célula fotovoltaica (VILLALVA, 2015).

São denominados semicondutores os materiais elétricos que possuem características de condutividade intermediárias entre as propriedades dos materiais isolantes (maus condutores elétricos) e dos condutores (excelentes condutores elétricos), ou seja, materiais que, em temperatura ambiente, possuem uma resistividade intermediária (ROCHA *et al*, 2018).

Normalmente, uma célula fotovoltaica é composta pela junção de duas camadas de material semicondutor, uma do tipo N e outra P. O material N possui um excesso de elétrons, e o P a falta destes, e em decorrência desta diferença de concentração, os elétrons da camada N fluem para camada P, com a criação de um campo elétrico dentro de uma zona de depleção no interior da estrutura da célula (VILLALVA, 2015). A estrutura de uma célula fotovoltaica pode ser observada conforme mostra a Figura 2.

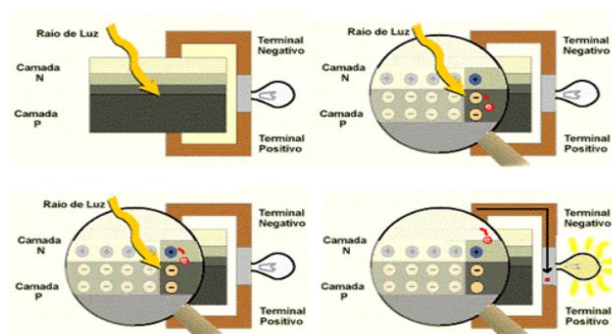
Figura 2 – Célula fotovoltaica



Fonte: Villalva (2015).

Quando a junção pn é exposta a fótons (partículas que compõem a luz), ocorre a geração de pares elétron-lacuna, e na região onde o há um campo elétrico diferente de zero, as cargas são aceleradas, e desta forma é gerada uma corrente elétrica através da junção. O deslocamento de cargas causa uma diferença de potencial, denominado efeito fotovoltaico, e a base de seu funcionamento é exemplificada como pode-se observar na Figura 3 (CRESESB, 2008).

Figura 3 – Efeito Fotovoltaico



Fonte: CRESESB (2008).

3.3.1. Tipos de células fotovoltaicas

Na atualidade, embora existam diversos tipos de materiais, o silício, além de ter sido o primeiro a ser comercializado, é o material mais utilizado para a fabricação de células fotovoltaicas. As tecnologias mais frequentes no mercado são a do silício monocristalino, a do silício policristalino e a do filme fino de silício (VILLALVA, 2015).

As células de silício monocristalino são, tradicionalmente, as mais utilizadas e comercializadas como conversor direto de energia solar em elétrica. Sua fabricação se inicia com a extração do cristal de dióxido de silício, que é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. O processo faz com que o material atinja um grau de pureza entre 98 e 99%, porém, para que funcione como células fotovoltaicas, são necessários outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza de cerca de 99,9999% (CRESESB, 2008).

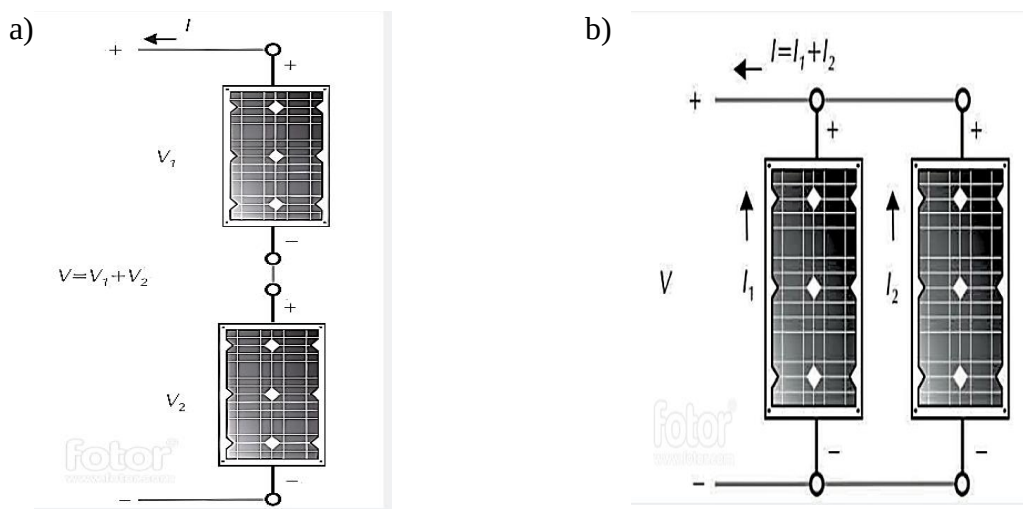
As células solares de silício policristalino por sua vez possuem um processo de fabricação mais barato do que aquele empregado na produção do monocristalino. O lingote de silício policristalino é constituído por um aglomerado de pequenos cristais, de tamanhos distintos, as células policristalinas normalmente possuem aparência heterogênea, e são comumente encontradas na cor azul (VILLALVA, 2015).

Uma tecnologia um pouco mais recente para a fabricação de células fotovoltaicas são os filmes finos, que surgiram quando as tecnologias cristalinas já existiam. De forma diferente das células cristalinas, que tem sua produção feita a partir de fatias de lingotes de silício, os dispositivos de filmes finos são feitos através do depósito de finas camadas de material (silício entre outros) sobre uma base rígida ou flexível. Apesar destes dispositivos apresentarem baixo custo de produção, possuem eficiência inferior as células cristalinas, necessitando de uma área maior de módulos para produzir a mesma quantidade de energia (VILLALVA, 2015).

3.4. MÓDULOS SOLARES

Uma célula fotovoltaica possui baixa tensão e corrente de saída, isto posto, é necessário o agrupamento de várias células para a formação de um módulo fotovoltaico, com esta junção podendo ser feita conectando-as em série (Figura 4) ou em paralelo (Figura 5) (CRESESB, 2008).

Figura 4 – a) Células conectadas em série, b) Células conectadas em paralelo



Fonte: Villalva (2015)

Quando as células são conectadas em paralelo, as correntes de cada módulo são somadas e a tensão do módulo é exatamente igual a tensão da célula, e por algumas características ineficientes, este tipo de arranjo não é utilizado em larga escala, e seu uso é feito apenas em condições especiais (CRESESB, 2008).

Ao conectar os módulos em série, a tensão de saída do conjunto corresponderá a soma da tensão nos terminais de cada um dos módulos, e a corrente que circula pelo conjunto será a mesma em todos os módulos (VILLALVA, 2015). A conexão em série possui a utilização mais comum em sistemas fotovoltaicos (CRESESB, 2008).

3.4.1. Classificação de módulos solares

De acordo com Balfour, Shaw e Nash (2019), as classificações de um módulo fotovoltaico correspondem às informações necessárias para se fazer um projeto de sistema funcional, e estas classificações irão ajudar a compreender como o produto final irá funcionar. As especificações são obtidas através de ensaios, que são feitos de acordo com a definição internacional de condições de teste-padrão, na qual o módulo é testado a uma radiação de 1000 W/m^2 e uma temperatura de 25 C° em incidência normal. Para que os módulos sejam classificados são necessários os seguintes critérios:

- **Potência nominal:** A capacidade nominal em watts que é produzida pelo módulo sob condições padrão.
- **Tolerância de energia:** A faixa de maior e menor eficiência sob condições padrão.
- **Watts DC (potência nominal) por pé quadrado:** Potência de saída por pé quadrado de módulo.
- **Eficiência do módulo:** A razão da entrada de luz solar em watts para a saída de um módulo em watts DC.
- **Corrente em curto-circuito:** A corrente máxima que pode ser produzida por um painel ou matriz solar específica.
- **Tensão em circuito aberto:** Tensão produzida quando não há carga na matriz, medida sob condições de teste padrão.
- **Tensão máxima do sistema:** A maior tensão na qual o sistema pode ser operado com segurança.
- **Classificação de fusível em linha:** O valor necessário para que o fusível proteja o módulo contra correntes reversas.
- **Ponto de potência máxima:** O produto da corrente em potência máxima e a tensão em potência máxima.

3.4.2. Fatores que afetam as características elétricas dos módulos

3.4.2.1. Intensidade luminosa e temperatura

A intensidade luminosa e a temperatura das células são os principais fatores que podem influenciar nas propriedades elétricas de um painel. O aumento da intensidade luminosa causa um crescimento linear na corrente gerada nos módulos, porém, o aumento da temperatura na célula gera uma queda na eficiência do módulo, de modo a causar uma baixa nos pontos de operação para potência máxima gerada (CRESESB, 2008).

3.4.2.2. Sombreamento de módulos fotovoltaicos conectados em série

O efeito do sombreamento ocorre quando uma ou mais células recebem pouca ou nenhuma incidência luminosa, e este acontecimento pode fazer com que um módulo inteiro

pare de produzir energia, mesmo que apenas uma das células receba pouca luz. Isto se dá pelo fato das células estarem conectadas em série, o que faz com que dependam umas das outras para produzir corrente, e desta forma, se um dos módulos do conjunto recebe menos luz, a corrente elétrica de todo o conjunto reduzirá, causando uma queda na produção de energia do sistema (VILLALVA, 2015).

3.4.2.3. Poeira e Sujeira

O acúmulo de resíduos como poeira, sujeira, resquícios de diesel dos caminhões, querosene dos aviões, entre outros, podem afetar a transmissão de energia do sistema. Manter o equipamento limpo reduz o acúmulo de calor nos componentes e prolonga a vida útil do conjunto, além de melhorar o desempenho do sistema em cerca de 5% (BAFOUR; SHAW; NASH, 2019).

3.5. COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

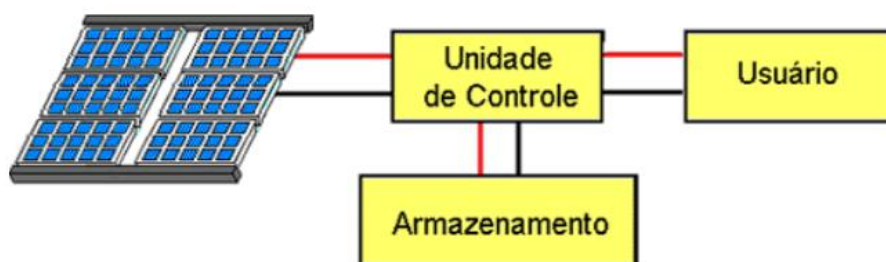
De acordo com Bafour, Shaw e Nash (2019), cada sistema fotovoltaico possui características personalizadas de acordo com a necessidade de cada local de instalação, e deste modo a localidade mostra-se importante para que se escolha o tipo de sistema necessário, bem como o nível de desempenho. Os sistemas fotovoltaicos têm como componentes:

- **O recurso solar:** Todos os sistemas fotovoltaicos têm o sol como sua fonte de energia;
- **Células fotovoltaicas:** Seções de materiais semicondutores que reagem a luz solar de modo a gerar tensão e corrente;
- **Módulo:** Várias células ligadas em paralelo ou em série;
- **Painel:** O termo painel é utilizado intercaladamente com o termo módulo;
- **Matriz:** Vários painéis conectados em série ou paralelo;
- **Bateria:** Dispositivo de armazenamento de energia elétrica;
- **Inversor:** Dispositivo utilizado para converter a energia de corrente contínua para corrente alternada;
- **Controlador de carga:** Dispositivo utilizado para regular, carregar e manter a tensão da bateria;

- **Carga elétrica:** Inclui os eletrodomésticos e outros tipos de aparelhos que irão usar a energia gerada pelo sistema fotovoltaico, estas podem ser de corrente contínua, alternada ou até mesmo ambas no mesmo sistema;
- **Cabeamento:** Inclui os fios que são utilizados para conectar os componentes do sistema para a formação de um circuito;
- **Protetor contra surtos:** Dispositivo que protege o sistema contra curtos-circuitos e danos decorrentes de flutuação de energia.

Cada conjunto segue uma configuração básica, onde o sistema deve ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento (Figura 5). Os complexos fotovoltaicos podem ser classificados em três tipos: Os sistemas isolados, os conectados à rede e os sistemas híbridos (CRESESB, 2008).

Figura 5 – Configuração de um sistema fotovoltaico

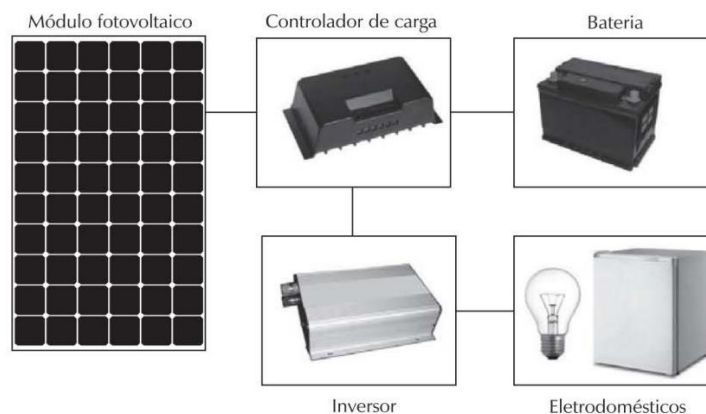


Fonte: CRESESB (2008).

3.6. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

3.6.1. Sistemas isolados

Os sistemas isolados são aqueles que utilizam o armazenamento de energia, geralmente em baterias, e são utilizados em zonas onde não há fornecimento da rede pública de energia elétrica, como ilhas ou zonas rurais (VILLALVA, 2015). Os sistemas isolados normalmente são compostos de um conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e, conforme a aplicação, um inversor de tensão contínua para alternada (CRESESB, 2008). A composição básica deste tipo de sistema pode ser exemplificada pela Figura 6.

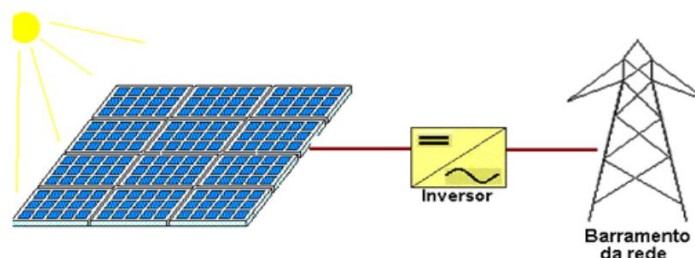
Figura 6 – Sistema isolado

Fonte: Villalva (2015).

3.6.2. Sistemas conectados à rede

Sistemas fotovoltaicos conectados com à rede de distribuição que não utilizam nenhum dispositivo para armazenamento de energia, pois a energia extra gerada pode ser armazenada diretamente na rede de transmissão, deste modo, não é necessária a retenção de energia em baterias de armazenamento (BAFOUR; SHAW; NASH, 2019).

Os sistemas conectados à rede representam uma fonte complementar a distribuidora de energia de grande porte no qual estão conectados. Todo o seu arranjo é interligado em inversores, que são guiados diretamente na rede, e sua composição se dá como é apresentado pela Figura 7 (CRESESB, 2008).

Figura 7 – Sistema conectado à rede

Fonte: CRESESB (2008).

3.6.3. Sistemas híbridos

Define-se como sistema híbrido aquele que, ao ser desconectado da rede pública de transmissão, apresenta várias fontes alternativas de geração de energia. Por utilizar diversas formas de geração, faz-se necessário um controle de todas as fontes para que se possa entregar a energia para o usuário com a máxima eficiência. Este tipo de conjunto é utilizado principalmente para sistemas de médio a grande porte, e seu esquema pode ser exemplificado pela Figura 8 (CRESESB, 2008).

Figura 8 – Sistema híbrido



Fonte: CRESESB (2008).

3.7. CONSIDERAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é o ajuste entre a energia do sol que incide sobre os módulos fotovoltaicos e a necessidade de demanda do consumidor, e ao realizar o projeto de uma instalação fotovoltaica deve-se levar em consideração a orientação dos módulos, disponibilidade de área, estética, consumo, entre outros (PINHO; GALDINO, 2014).

Para que um sistema fotovoltaico seja projetado da forma correta, dois parâmetros são fundamentais, e estes são, a radiação solar que incide sobre o sistema e o consumo de energia. No entanto, geralmente não é possível encontrar estes dados de forma exata, desta forma, é necessário o uso de cálculos aproximados para que o conjunto seja projetado (VERA, 2004).

Qualquer local para onde um sistema fotovoltaico for dimensionado terá suas próprias necessidades de carga e adequabilidade, uma vez que, por exemplo, duas habitações de mesmo

tamanho e localização podem apresentar notáveis diferenças em seu consumo de energia. Desta forma, cada localidade possui sua própria individualidade, logo, é necessário que todo sistema de energia solar fotovoltaica seja projetado de forma individual (BAFOUR; SHAW; NASH, 2019).

3.7.1. Etapas preliminares do dimensionamento de um projeto fotovoltaico

De acordo com Pinho e Galdino (2014), as etapas principais para projetar um sistema fotovoltaico são:

1. Fazer o levantamento do recurso solar que o local onde a instalação será feita dispõe;
2. Definir a configuração do sistema e onde ele será montado;
3. Realizar a listagem do consumo de energia elétrica onde o conjunto será instalado;
4. Dimensionar o gerador fotovoltaico;
5. Fazer o dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência, que no caso dos sistemas conectados à rede limita-se ao inversor para interligação com a rede;
6. Dimensionamento do sistema de armazenamento (necessário apenas para sistemas isolados e híbridos).

3.7.2. Consumo de energia

O processo inicial para que um sistema fotovoltaico seja dimensionado é a listagem de todo o consumo de energia elétrica no estabelecimento onde será feita a instalação, como pode ser exemplificado pela Tabela 1. O cálculo da energia necessária para alimentar um aparelho é feito pela potência do dispositivo e o número de horas em que este é utilizado, e para que seja calculado este consumo deve-se utilizar a Equação (1) (VILLALVA, 2015).

Tabela 1 – Consumo de energia

Carga	Potência (W)	Horas de utilização por dia	Dias de utilização por semana	Consumo diário (Wh)
Equipamento 1	15	3	4	25,71
Equipamento 2	60	2	2	34,29
Equipamento 3	100	1,5	7	150,00
Potência total	175	Consumo total	=	210,00

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

$$E_c = P \cdot T \quad (1)$$

Onde:

E_c = Energia consumida em watts-hora [Wh];

P = Potência em Watts [W];

T = Tempo de uso em horas [h].

3.7.3. Adequabilidade do local

De acordo com Bafour, Shaw e Nash (2019), a melhor forma de descobrir se um lugar é bom para a instalação de um sistema fotovoltaico é a realização de uma avaliação detalhada no local. A análise do local do projeto deve levar em consideração os obstáculos atuais, bem como os futuros, e os principais fatores para que seja determinada a adequação do local são:

- **Exposição do Sol:** Sistemas fotovoltaicos necessitam receber o máximo de incidência de luz solar direta possível, de preferência entre as 8 e as 16 horas.
- **Obstruções:** A exposição dos módulos aos raios solares deve ser a mais desobstruída possível, portanto é necessário levar em consideração possíveis obstáculos na incidência luminosa como árvores, prédios, montanhas, entre outros.
- **Terreno e espaço:** O terreno é uma das partes mais importantes para a instalação de conjuntos fotovoltaicos, desta forma, para que o dimensionamento seja feito de forma

adequada, deve haver espaço suficiente para que seja colocado o sistema de forma segura, de forma que não haja nenhum tipo de manutenção a longo prazo.

3.8. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

Diferentemente de um sistema fotovoltaico isolado, nos conjuntos conectados à rede de transmissão a quantidade de placas não é tão importante, pois a energia pode ser complementada pelas linhas de distribuição. Desta forma, para este tipo de projeto também não há necessidade do uso de baterias para o armazenamento de energia (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo a Resolução Normativa da nº 482 da ANEEL de 17 de abril de 2012, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica podem ser, de acordo com seu tamanho, separados em três tipos, e estes são:

- **Microgeração:** Potência instalada de até 75 kW;
- **Minigeração:** Potência instalada entre 100kW e 1MW;
- **Usinas de eletricidade:** Potência acima de 1MW.

3.8.1. Dimensionamento do número de painéis fotovoltaicos

Para que a potência do sistema seja dimensionada é necessário que se tenha o entendimento do sistema de compensação regulamentado no país. No sistema de compensação adotado no Brasil (Resolução Normativa ANEEL 482/2012), se o conjunto fotovoltaico gerar mais energia que a demandada pelo consumidor, este excedente será enviado para as linhas de transmissão, e se ocorrer o caso contrário, a rede elétrica irá adicionar a quantidade de energia que o consumidor necessita (PINHO; GALDINO, 2014).

De acordo com Villalva (2015), para a realização de um projeto de sistema fotovoltaico é necessário determinar a energia produzida diariamente por um painel fotovoltaico. A energia produzida pode ser calculada por vários tipos de métodos, desta forma, uma das maneiras de obter a energia produzida por módulo é o método da corrente máxima.

De acordo com Pinho e Galdino (2014), para realizar o cálculo da energia produzida pelo método da corrente máxima são necessários o valor da potência de cada módulo, a quantidade de horas em que o sistema será exposto ao sol (Horas de sol pleno), e a eficiência

dos painéis que serão utilizados. Com estes valores é possível realizar o cálculo pela Equação (2)

$$E_P = P_M \cdot H_{SP} \cdot \eta_M \quad (2)$$

Onde:

E_P : Energia produzida por um módulo diariamente (Wh);

P_M : Potência do módulo;

H_{SP} : Horas de sol pleno (h);

η_M : Eficiência do módulo (Adimensional).

De acordo com Moura *et al* (2019), define-se Horas de sol pleno (H_{SP}) como o número de horas equivalentes por dia em que a radiação solar permanece constante e igual a 1 kW/m², e a grandeza pode ser calculada como mostra a equação (3).

$$H_{SP} = \frac{I_{INC}}{1 \text{ kWh}} \quad (3)$$

Onde:

H_{SP} : Horas de Sol Pleno (h/dia);

I_{INC} : Irradiação Incidente (kWh/m².dia).

Segundo Villalva (2015), após ter calculado a energia produzida por um módulo e com o conhecimento do valor energético que se pretende produzir diariamente, o número de módulos fotovoltaicos necessários no sistema pode ser calculado pela Equação (4).

$$N_P = \frac{E_C}{E_P} \quad (4)$$

Onde:

N_P : Número de painéis fotovoltaicos (adimensional);

E_C : Energia consumida diariamente (kWh);

E_P : Energia produzida por um módulo diariamente (kWh).

3.8.2. Dimensionamento dos inversores

3.8.2.1. Fator de dimensionamento

De acordo com Pinho e Galdino (2014), para realizar que os inversores sejam dimensionados da forma correta, é necessário utilizar o cálculo do Fator de Dimensionamento de inversores (FDI). Este representa a relação entre a potência nominal CA do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico (o máximo de energia que o painel pode gerar nas condições de teste padrão), e é calculado como mostra a Equação (5).

$$\mathbf{FDI} = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} \quad (5)$$

Onde:

FDI: Fator de Dimensionamento do inversor (adimensional);

P_{Nca} : Potência nominal em corrente alternada do inversor (W);

P_{FV} : Potência de pico dos painéis fotovoltaicos.

3.8.2.2. Tensão de entrada

A quantidade máxima de tensão que um inversor suporta limitará o número de módulos que poderão ser conectados em série. Desta forma, o projetista do conjunto fotovoltaico deverá fazer a consulta da folha de dados dos módulos utilizados e, com base na informação da tensão de circuito aberto apresentada pelo fabricante, determinar qual será o número máximo de painéis em série (VILLALVA, 2015).

De acordo com Pinho e Galdino (2014), a número máximo de placas conectadas em série pode ser calculado com auxílio da Equação (6).

$$\mathbf{Nm_{SÉRIE} \cdot Voc_{Tmin} < Vi_{máx}} \quad (6)$$

Onde:

$Nm_{SÉRIE}$: Número de módulos em série por string (adimensional);

$V_{OC_{Tmin}}$: Tensão de circuito aberto (Voc) de um módulo fotovoltaico na menor temperatura de operação prevista (V);

V_{Imax} : Máxima tensão CC suportada pela entrada do inversor.

3.8.2.3. Faixa de tensão de operação do inversor

De acordo com Bradacz (2020), a quantidade de placas interligadas em série deve resultar em tensões que atendam a faixa de tensão do inversor. Desta forma, é necessário avaliar se o sistema fotovoltaico conectado à rede possui um número suficiente de módulos em série de modo que a tensão do painel seja superior mínima tensão do inversor e inferior à máxima. O valor pode ser estimado com a utilização da Equação (7).

$$\frac{V_{i_{min}}}{V_{mpT_{max}}} < Nm_{SÉRIE} < \frac{V_{i_{max}}}{V_{mpT_{min}}} \quad (7)$$

Onde:

$Nm_{SÉRIE}$: Número de módulos em série (adimensional);

$V_{i_{min}}$: Mínima tensão c.c. de operação do inversor (V);

$V_{i_{max}}$: Máxima tensão c.c. de operação do inversor (V);

$V_{mpT_{max}}$: Tensão de máxima da potência (V_{mp}) na temperatura máxima de operação prevista (V);

$V_{mpT_{min}}$: Tensão de máxima potência (V_{mp}) na temperatura mínima de operação prevista (V).

3.8.2.4. Corrente máxima CC do inversor

Cada inversor possui uma corrente máxima de entrada CC, e para que este valor não seja ultrapassado é necessário se fazer o cálculo do número limite de fileiras das séries fotovoltaicas conectadas em paralelo, este cálculo pode ser realizado com a utilização da Equação (8).

$$Nm_{PARALELO} \cong \frac{I_{i_{max}}}{I_{sc}} \quad (8)$$

Onde:

N_{PARALELO} : Número de séries de módulos conectados em paralelo (adimensional);

$I_{\text{máx}}$: Corrente máxima CC suportada na entrada do inversor (A);

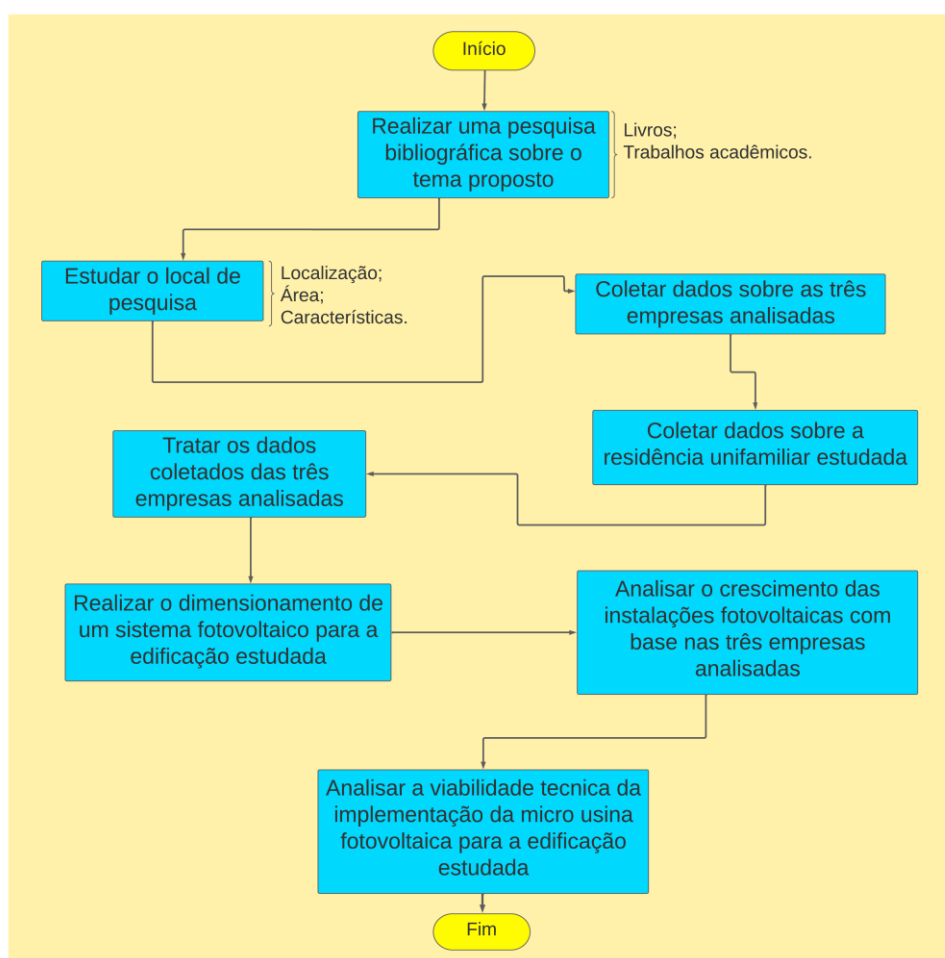
I_{sc} : Corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico nas condições de teste padrão (A).

4. METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida caracteriza-se como uma análise do crescimento das instalações fotovoltaicas com base em dados de três empresas do setor solar e um estudo de caso, onde foi analisado e projetado um sistema fotovoltaico para uma residência localizada nas imediações da cidade de Caraúbas-RN.

Para a realização do estudo foram seguidas as etapas do fluxograma mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2022).

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Richardson (1999), a descrição do plano de uma pesquisa pode ser feita por três tipos de metodologias, e estes são descritos como: os estudos descritivos (quando se deseja realizar uma descrição das características de um fenômeno), exploratórios (quando se

deseja descobrir mais informações sobre um fenômeno desconhecido) e os explicativos (quando se deseja analisar causas e consequências de certo acontecimento).

Deste modo, no que se refere aos objetivos, a presente pesquisa apresenta um caráter descritivo, pois de acordo com Gil (2008), este gênero de estudo tem como principal finalidade descrever as características de certa população ou fenômeno ou estabelecer relações entre elementos, e um de seus aspectos mais relevantes é a utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados.

Os estudos descritivos têm como suas principais funções, observar os fatos, registrá-los, analisa-los, classifica-los e realizar a sua interpretação, deste modo, as considerações pessoais do pesquisador não devem interferir no processo. Logo, os fenômenos a serem tratados não são propriamente manipulados pelo pesquisador, mas sim estudados de forma imparcial (RAUPP; BEUREN, 2004).

Quanto aos procedimentos, a presente pesquisa classifica-se como um estudo de caso (método monográfico), uma vez que, o método monográfico tem como sua principal característica a concentração da pesquisa em um único caso, e é geralmente utilizado quando o pesquisador tem o objetivo de aprofundar o seu conhecimento em algum fenômeno em específico (RAUPP; BEUREN, 2004). Desta forma, os estudos de caso possuem grande profundidade, porém pequena amplitude, pois buscam sempre compreender a realidade de um indivíduo ou nicho (ZANELLA, 2013).

E por fim, quanto a abordagem do problema, o estudo presente classifica-se como quantitativo, método este que se caracteriza pelo emprego da quantificação de resultados, tanto na coleta quanto no tratamento de dados, com a utilização de meios estatísticos desde os mais simples como percentual ou média, até os mais complexos como coeficiente de correlação, análise de regressão, entre outros (RICHARDSON, 1999). Portanto, as pesquisas de cunho quantitativo são feitas com o propósito de garantir a precisão dos resultados, de modo a evitar quaisquer tipos de interferências causadas por análises ou interpretações (RAUPP; BEUREN, 2004).

4.2. LOCAL DE ESTUDO

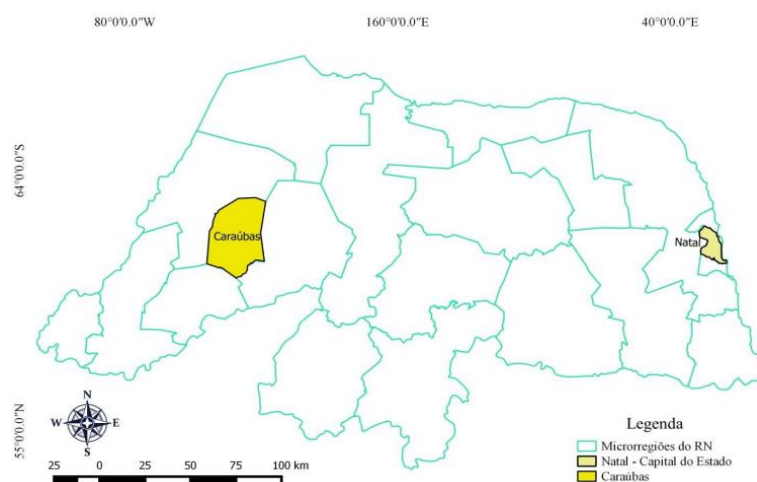
A região utilizada como foco da pesquisa é a cidade de Caraúbas-RN, localizada no estado do Rio Grande do Norte (RN), que de acordo com o art. 1º da Constituição do Estado do Rio Grande do Norte (2020), é uma unidade federativa integrante e inseparável da República Federativa do Brasil, que rege pelas leis de sua constituição e respeita os princípios da

Constituição da República Federativa do Brasil, tendo sua organização baseada em uma democracia.

O Rio Grande do Norte posiciona-se entre as latitudes de 4°50' S e 7° S e entre as longitudes de 35° W e 38°30' W, limitando-se ao sul com o estado da Paraíba, a Oeste com o Ceará e ao norte e leste pelo Oceano Atlântico (DINIZ *et al*, 2017).

O município de Caraúbas-RN está situado na mesorregião Oeste potiguar e na microrregião da chapada do Apodi. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021) a cidade apresenta uma área territorial de cerca de 1.095,803 km², aproximadamente 20588 habitantes e de acordo com CRESESB (2018) uma irradiação solar direta de 2164,45 kWh/m².ano. Sua localização no estado do Rio Grande do Norte é mostrada pela Figura 10.

Figura 10 – Localização de Caraúbas no Rio Grande do Norte



Fonte: LOPES, 2017.

4.3. EMPRESAS ESTUDADAS

A pesquisa foi iniciada com a obtenção de dados sobre os sistemas fotovoltaicos instalados, utilizando como referência três empresas do setor solar que possuem projetos e prestam atendimentos a cidade de Caraúbas-RN.

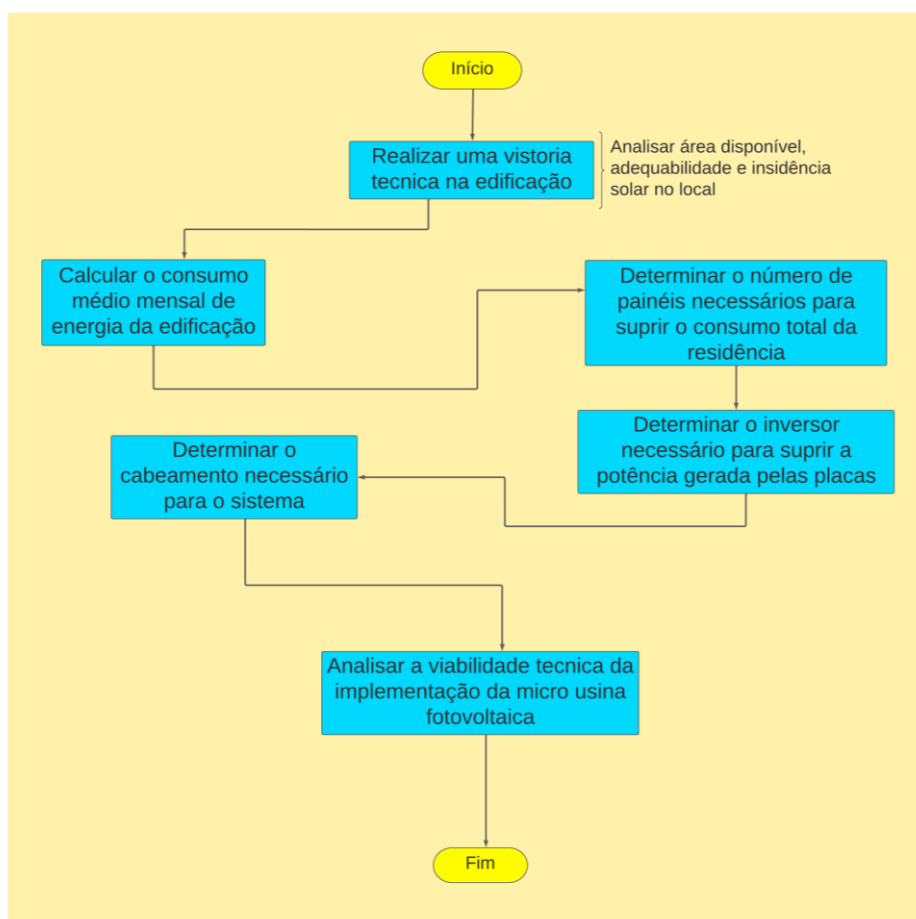
Os estabelecimentos estudados foram nomeados como empresas A, B e C, e com base nas informações apuradas, realizou-se uma análise quantitativa e a construção de gráficos, onde foi abordado o crescimento das instalações fotovoltaicas desde o ano de abertura das empresas até o ano de 2022.

Para a obtenção das informações utilizadas na pesquisa foi elaborado um *Checklist*, que foi enviado e respondido por cada uma das três empresas. O *Checklist* enviado e respondido pelas empresas é mostrado no Apêndice A.

4.4. ESTUDO DE CASO: RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

No estudo de caso será realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma residência unifamiliar. O projeto do sistema fotovoltaico irá seguir as etapas mostradas no fluxograma da Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma do dimensionamento do sistema fotovoltaico



Fonte: Autoria Própria (2022)

4.4.1. Caracterização da localização e adequabilidade da residência

A residência que foi utilizada no estudo de caso localiza-se no distrito do Santo Antônio, nas imediações da cidade de Caraúbas-RN, e seu sistema elétrico possui conexão com a rede pública de distribuição.

4.4.2. Definição e cálculo de consumo do sistema fotovoltaico

O sistema escolhido para a residência leva em consideração se a habitação possui ou não conexão com a rede pública de energia, e o dimensionamento das placas e do inversor considerará principalmente a potência necessária para suprir a demanda da residência.

Para que seja feito consumo de energia mensal em kWh da residência, é necessário realizar uma média, e para isto, deve-se utilizar a energia demandada pela edificação em cada mês em um período de 1 ano, pois com a realização de uma média com todos os meses que constituem um período anual é possível minimizar erros de cálculo relacionados as mudanças de tempo de cada estação do ano.

Utilizando o valor de consumo mensal será calculado o consumo de energia médio diário, e baseado neste valor e na potência de cada uma das placas que serão utilizadas no sistema será estimada a quantidade de placas necessárias para que em condições normais a geração de energia seja igual ou superior ao consumo total da residência.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CRESCIMENTO DAS INSTALAÇÕES SOLARES COM BASE EM EMPRESAS QUE ATUAM NA CIDADE DE CARAÚBAS-RN

Para estudar o crescimento das usinas fotovoltaicas, o presente trabalho analisou o número de projetos e a potência instalada de três empresas do setor solar, nomeadas como A, B e C, que possuem projetos e prestam atendimento na cidade de Caraúbas-RN.

Para a realização do estudo foi feita uma comparação entre o ano de abertura das empresas e o ano de 2022. Porém, uma vez que a atual monografia foi desenvolvida antes do final do ano, os dados obtidos para os projetos das empresas compreendem apenas instalações realizadas até o fim do mês de setembro de 2022.

A pesquisa também analisou dados do ano de 2021 para as empresas A e B, sendo assim possível, para estes empreendimentos, analisar o seu último ano completo de serviço. No entanto, não foi possível efetuar o mesmo procedimento com a empresa C, uma vez que esta foi aberta somente no ano de 2021.

5.1.1. Empresa A

A empresa nomeada pela letra “A” possui sua sede localizada na cidade de Apodi-RN e foi aberta em outubro de 2020, com o intuito de realizar a venda, instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos.

Em seu primeiro ano, o estabelecimento atendeu as cidades de Apodi, Natal, Caraúbas e Upanema, realizando cerca de 200 projetos, com uma potência instalada de aproximadamente 1100 kWp. Os principais tipos de instalações no primeiro ano da empresa caracterizavam-se como projetos para residências e pequenos produtores rurais, com todos possuindo conexão com a rede pública de energia.

Ao final do ano de 2021, a empresa A apresentou significativo crescimento geográfico, e expandiu seus projetos para os estados do Rio Grande do Norte (RN), Ceará (CE) e Paraíba (PB), dispondo de instalações em mais de 80 cidades. Os tipos principais de instalações realizadas pela empresa em 2021 caracterizam-se como projetos residenciais e industriais, e todas as suas instalações possuem conexão com a concessionária pública de energia elétrica.

A potência instalada pelo estabelecimento em 2021 foi de cerca de 2800 kWp, com aproximadamente 520 projetos concluídos. Desta forma, em relação ao seu primeiro ano, a empresa A apresentou, no ano de 2021, um aumento em torno de 2,6 vezes no número de suas instalações, com um crescimento de aproximadamente 2,5 vezes em sua potência instalada.

No ano de 2022 no entanto, o empreendimento registrou um total 89 sistemas fotovoltaicos vendidos, com uma potência instalada de aproximadamente 630 kWp. Portanto, em seu último ano a empresa A, em relação ao seu ano de abertura, apresentou um número de projetos 2,2 vezes inferior, e uma potência instalada aproximadamente 1,7 vezes menor.

5.1.2. Empresa B

A empresa nomeada com a letra “B” possui sua sede na cidade de Assu-RN, e foi aberta no ano de 2015, com o objetivo principal de prestar serviços relacionados a eficiência energética. No ano de sua abertura, o estabelecimento não tinha o propósito de realizar serviços relacionados à energia solar, no entanto, ainda no ano de 2015, com uma maior acessibilidade a equipamentos e o início de uma ascensão dos sistemas fotovoltaicos, a empresa iniciou os seus primeiros projetos na área.

Em seu primeiro ano, a empresa “B” realizou um total de 6 instalações de usinas fotovoltaicas, todas na cidade de Assu-RN. Suas instalações no ano de abertura caracterizaram-se como projetos residenciais em conexão com as linhas de transmissão, com uma potência instalada total de 35 kWp.

Ao final do ano de 2021, a empresa B demonstrou significativa expansão em seu número de projetos fotovoltaicos, e sua prestação de serviços ampliou-se a todas as cidades do estado do Rio Grande do Norte. Os principais tipos de usinas fotovoltaicas da empresa em seu último ano caracterizam-se como projetos residenciais e comerciais, com todos possuindo conexão com a rede pública de energia.

Em 2021 a empresa B realizou cerca de 220 projetos, com uma potência instalada de aproximadamente 1,5 MWp, sendo apresentado desta forma um notável avanço em relação ao seu ano de abertura.

Até o mês de setembro de 2022 a empresa B apresentou um total de 176 instalações concluídas, com uma potência instalada total de aproximadamente 1,22MWp. Portanto, em relação ao seu ano de abertura, o estabelecimento B mostrou em seu último ano uma expansão de aproximadamente 30 vezes em seu número de projetos e um crescimento de 35,8 vezes em sua potência instalada. Porém, mesmo apresentando números significativos em relação ao ano

de abertura, até setembro de 2022 a empresa B possui números ainda inferiores aos obtidos no ano de 2021.

5.1.3. Empresa C

A empresa nomeada pela letra “C” possui sua sede na cidade de Apodi-RN, e foi inaugurada no ano de 2021, com o intuito de prestar serviços relacionados a engenharia elétrica, com ênfase na venda e instalação de usinas fotovoltaicas. Em seu primeiro ano o estabelecimento realizou seus primeiros projetos apenas na cidade de Apodi, e suas instalações caracterizavam-se como usinas fotovoltaicas conectadas à rede de distribuição para residências unifamiliares.

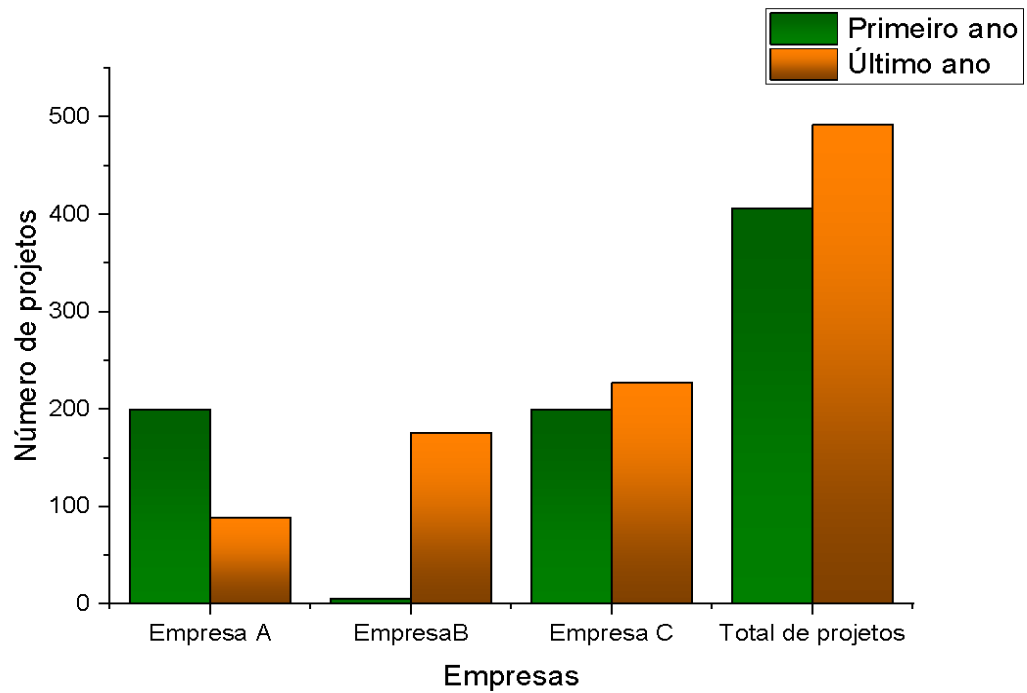
Em 2021, a empresa concluiu aproximadamente 200 projetos, apresentando uma potência instalada de 1MWp ainda em seu primeiro ano.

No ano de 2022, a empresa C passou a atender cidades dos estados do Rio Grande do Norte (RN), Ceará (CE) e Paraíba (PB), e apresentou expansão notável tanto no número de seus projetos quanto na potência instalada em relação ao ano de abertura. O principal foco do empreendimento no ano de 2022 ainda é a instalação e a venda de usinas fotovoltaicas, e seus principais tipos os projetos caracterizam-se como industriais e comerciais com conexão à rede de distribuição.

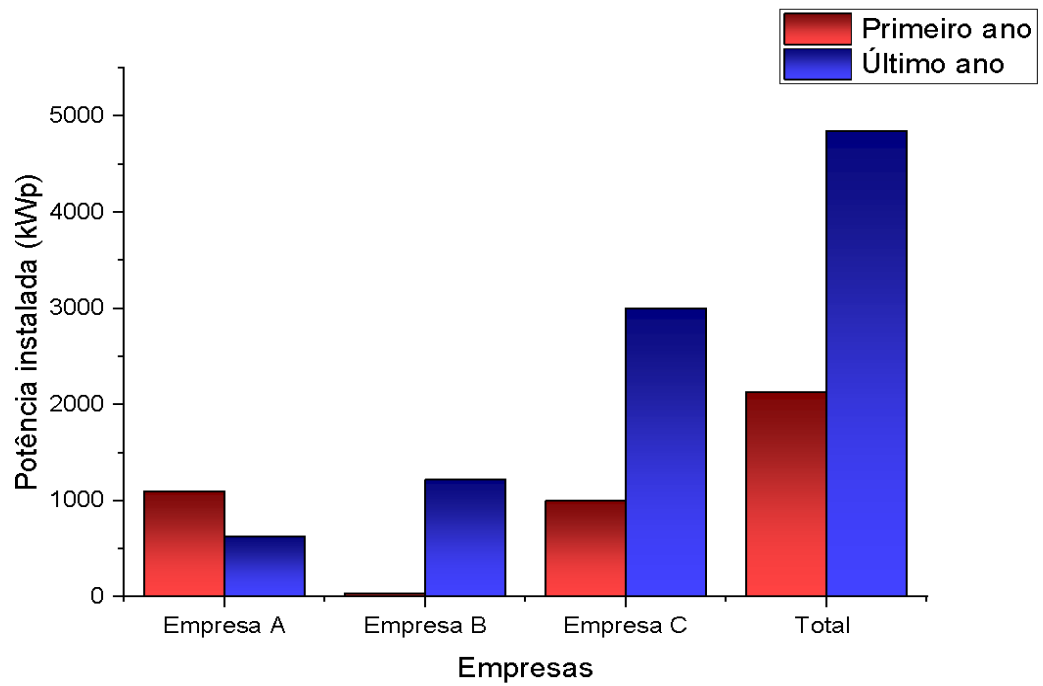
Até o mês de setembro de 2022, a empresa C concluiu um total de 227 projetos, com uma potência instalada total de cerca de 3MWp. Desta forma, o empreendimento C mostrou um crescimento de 1,135 vezes no número de instalações e um aumento na potência instalada de aproximadamente 3 vezes em relação ao seu ano de abertura.

5.1.4. Análise Geral

A comparação gráfica entre o número de projetos concluídos pelas empresas em seu ano de abertura e no ano de 2022 é mostrada pela Figura 12, e a relação gráfica entre a potência instalada por cada empresa em sua abertura e o ano de 2022 é apresentada pela Figura 13.

Figura 12 – Gráfico do número de projetos das empresas

Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 13 – Potência instalada das empresas

Fonte: Autoria Própria (2022)

As empresas A, B, e C somadas concluíram um total de 406 instalações em seu ano de abertura e até setembro do ano de 2022 totalizaram 492 projetos finalizados, desta forma, foi verificado um aumento de cerca de 1,21 vezes no número de instalações em relação ao ano de abertura de cada estabelecimento. Em relação a potência instalada, em seu ano inicial as três empresas totalizaram 2135 kWp, e no último ano de serviço, os estabelecimentos somaram um total de 4850 kWp, logo, constatou-se uma expansão de aproximadamente 2,27 vezes em relação ao ano de abertura.

Com os dados obtidos é possível observar que os sistemas fotovoltaicos apresentaram significativo crescimento entre os anos de 2015 e 2021, e apesar de em 2022 as usinas fotovoltaicas apresentarem números notáveis de crescimento ainda não foram superados os valores registrados em 2021.

Desta forma, os resultados encontrados mostram coerência com estudos relacionados a expectativa de crescimento dos sistemas fotovoltaicos no Brasil. Um exemplo disto é a análise feita por Alencar e Junior (2016), que realizou uma perspectiva do avanço das usinas fotovoltaicas no Brasil entre 2014 e 2024, onde foi observado um contínuo crescimento na potência instalada ao decorrer dos anos, no qual 2021 se apresenta como o ano de maior índice de crescimento, e o ano de 2022, apesar de ainda apresentar crescimento, apresenta-se como inferior a 2021.

De modo geral, todos os sistemas instalados pelas três empresas possuem conexão com a concessionária pública de energia elétrica. Isto se dá pelo fato de que, segundo os proprietários das empresas, os projetos de sistemas que utilizam bancos de baterias para o armazenamento de energia possuem pouca viabilidade econômica, uma vez que os materiais necessários para sua instalação demandam um alto custo, e a eficiência de sistemas isolados é inferior em relação a sistemas que possuem conexão com as linhas de transmissão.

Ao observar os principais tipos de instalação feitos pelas empresas, é possível afirmar que maior parte se caracteriza como projetos para estabelecimentos comerciais e para residências unifamiliares. Esta concentração de instalações no setor residencial e comercial ocorre em decorrência de fatos como o aumento da tarifa de energia no Brasil, pois de acordo com a ABRACEEL (2022) a tarifa de energia elétrica residencial apresentou um aumento médio anual de 16,3% entre os anos de 2015 e 2021.

Ao analisar o ano de abertura de cada empresa e o número de seus projetos no primeiro ano, é possível constatar que as empresas que tiveram sua abertura feita próxima do ano de 2021, obtiveram um maior número de projetos realizados em seu primeiro ano. Em uma visão geral, um dos motivos que podem justificar este fato é a intensificação da crise hídrica no Brasil,

pois de acordo com o MME (2022) a escassez hídrica do país no ano de 2021 foi considerada a pior dos últimos 90 anos. Em decorrência deste fato e com o aumento das tarifas de energia, tornou-se viável, principalmente para o setor residencial e comercial, optar pelo uso de usinas fotovoltaicas para minimizar os custos relacionados a conta de energia.

Outro fator que pode ser considerado agravante para este crescimento são os impactos causados pela pandemia da Covid-19, iniciada no ano de 2020, pois com este acontecimento se fez necessário para a população a maior permanência em suas residências, e desta forma, um maior consumo de energia elétrica.

5.2. ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

O dimensionamento do sistema fotovoltaico para a residência unifamiliar estudada será feito com o objetivo de gerar a energia necessária para suprir o consumo total da edificação. Deste modo, de acordo com informações do proprietário, o conjunto deve ser projetado para gerar aproximadamente 590 kWh mensais para que seja possível suprir a demanda total da edificação. Porém, levando em consideração possíveis impasses na geração energética como mudanças climáticas, perdas relacionadas a eficiência do sistema, sujeira e sombreamento, entre outros, e com o objetivo de garantir que o sistema projetado gere uma quantidade energética igual ou acima da consumida pela edificação, o conjunto fotovoltaico será dimensionado para que gere aproximadamente 850kWh mensais.

A residência analisada possui conexão com a concessionária pública de transmissão de energia, e por este motivo, não será necessário o uso de baterias de armazenamento. Portanto, o sistema fotovoltaico projetado caracteriza-se como Grid-Tie, ou seja, um sistema conectado à rede.

5.2.1. Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Foi escolhido para a edificação estudada a utilização de painéis Znshine 450W Vidro Duplo Bifacial Halfcell. Os dados do módulo utilizado no sistema são mostrados pela Tabela 2.

Tabela 2 – Dados do módulo fotovoltaico

DADOS DO MÓDULO	
Potência	450 Wp
Tensão Máxima de potência (V_{mp})	41,4 V
Corrente de Máxima Potência (I_{mp})	10,87 A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	49,60 V
Corrente de Curto Circuito (I_{sc})	11,58 A
Tensão máxima do sistema	1500 V
Eficiência do módulo (η_M)	0,793
Coefficiente de Temperatura da Potência	-0,35 %/°C

Fonte: Autoria Própria (2022)

De acordo com o LABREN (2021), a irradiação incidente (I_{INC}) na cidade de Caraúbas-RN e em suas regiões adjacentes é de aproximadamente 5,92 kWh/m².dia, deste modo, com auxílio da equação (3), tem-se que o número de Horas de Sol Pleno (H_{SP}) para a edificação estudada é:

$$H_{SP} = \frac{I_{INC}}{1 \text{ kWh}}$$

$$H_{SP} = \frac{5,92 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

$$H_{SP} = 5,92 \text{ h/dia}$$

Com o valor de H_{SP} obtido, a energia gerada por cada painel fotovoltaico em um dia será estimada com o uso da equação (2), no qual, para o presente caso, de acordo com a Tabela 2, cada um dos módulos utilizados apresenta uma potência (P_M) de 450W e uma eficiência (η_M) de 0,793. Portanto, a Energia gerada diariamente por cada módulo (E_P) será:

$$E_P = P_M \cdot H_{SP} \cdot \eta_M$$

$$E_P = 450W \cdot 5,92h/dia \cdot 0,793$$

$$E_P = 2,113kWh/dia$$

Como definido anteriormente, o sistema fotovoltaico será projetado para gerar uma quantia energética de aproximadamente de 850kwh mensais, em virtude disto, dividindo este valor por 30 dias obtêm-se que a energia consumida pela edificação diariamente (E_C) é de

aproximadamente 28,334 kWh. Portanto, de acordo com a Equação (4) obtêm-se que o número de painéis (N_p) necessários no sistema é:

$$N_p = \frac{E_c}{E_p}$$

$$N_p = \frac{28,334\text{kWh}}{2,113\text{kWh}}$$

$$N_p = 13,409$$

Neste caso, como não é possível a utilização de 13,409 módulos, o valor do número de painéis (N_p) foi corrigido para 14.

Para o presente caso, todos os 14 módulos serão conectados em série e serão organizados em dois arranjos de 7 painéis cada. Desta forma, cada arranjo apresentará uma Corrente Máxima (I_{mp}) de 10,87 A e uma Tensão máxima de 289,8 V.

5.2.2. Dimensionamento do Inversor

Para o sistema fotovoltaico do atual estudo, foi utilizado o inversor Grid Tie Growatt de 6kw, monofásico, 220V e 2mppt. As características do inversor, segundo dados do fabricante, são mostradas pela Tabela 3.

Tabela 3 – Dados do inversor

DADOS DO INVERSOR	
Dados da entrada	
Máxima potência fotovoltaica recomendada	8100W
Máxima tensão CC	550V
Tensão de partida	100V
Faixa de tensão de mppt/tensão nominal mppt	80V-550V/360V
Corrente máxima de entrada	12,5A
Máxima corrente de curto-circuito	16A
Número de mppt/Strings por mppt	2/1
Dados da saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	6000W
Potência aparente máxima de CA	6000V A
Corrente máxima de saída	27,2 A
Tensão nominal de saída	230V(160V-300V)

Conexão CA	Fase única
Dados gerais	
Dimensões (l/a/p) em mm	375/350/160
Faixa de temperatura operacional	-25°C...+60°C
Peso	10,8 kg
Auto-consumo a noite	<1W

Fonte: Autoria Própria (2022)

5.2.2.1. Fator de dimensionamento do Inversor

De acordo com Pinho e Galdino (2014), para que o sistema fotovoltaico seja projetado da forma correta, o fator de dimensionamento não deve apresentar valores inferiores a 0,75 ou 0,85, bem como não pode ultrapassar o valor de 1,05.

Pela Tabela 3, o inversor utilizado apresenta uma Potência nominal em corrente alternada (P_{Nca}) de 6000W e como mostra a Tabela 2, cada painel utilizado apresenta uma potência de 450W, portanto, como no sistema proposto serão utilizados 14 painéis, obtêm-se que a Potência de pico dos painéis fotovoltaicos (P_{FV}) é de 6300W.

Com os valores obtidos e com auxílio da Equação 5 afirma-se que o valor do Fator de dimensionamento (FDI) é:

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}}$$

$$FDI = \frac{6000W}{6300W}$$

$$FDI = 0,95$$

Com os dados obtidos é possível afirmar que o Fator de dimensionamento (FDI) atende as especificações recomendadas para um ideal funcionamento do sistema.

5.2.2.2. Tensão máxima de entrada

Para o dimensionamento correto do inversor, o valor da tensão máxima de circuito aberto de cada arranjo deve ser inferior a tensão máxima permitida na entrada do inversor. Para o sistema analisado, os módulos serão organizados em dois strings, nos quais cada arranjo apresenta um número de módulos em série ($N_{mSÉRIE}$) de 7 painéis, e cada placa apresenta uma

máxima tensão de circuito aberto (V_{ocTmin}) de 49,6V, deste modo, de acordo com a Tabela 3 o inversor utilizado suporta uma máxima tensão CC ($V_{i_{máx}}$) de 550V em sua entrada. Logo, pela Equação (6) obtêm-se que:

$$\begin{aligned} Nm_{SÉRIE} \cdot Voc_{Tmin} &< Vi_{máx} \\ 7 \cdot 49,6V &< 550V \\ 347,2V &< 550V \end{aligned}$$

Deste modo é possível afirmar que o número de painéis em série por string atende as especificações para o correto funcionamento do sistema.

5.2.2.3. Tensão de operação do inversor

A quantidade de painéis conectados em série deverá resultar em diferenças de potencial que atendam a faixa de tensão MPPT do inversor. Para o caso analisado, cada string apresenta um número de módulos em série ($Nm_{SÉRIE}$) igual a 7, e pela Tabela 3, o inversor compreende uma Mínima tensão c.c. de operação ($V_{i_{mín}}$) de 80V e uma Máxima tensão de operação ($V_{i_{máx}}$) de 550V.

De acordo com a Tabela 2, cada painel fotovoltaico apresenta um coeficiente de temperatura da potência de -0,35%/°C e uma máxima tensão de potência (V_{mp}) de 41,4V e de acordo com a Tabela 3, o inversor apresenta uma temperatura de operação mínima de -25 °C e uma temperatura de operação máxima de 60°C, deste modo, obtêm-se que a Máxima potência na temperatura mínima de operação do inversor ($V_{mpTmín}$) é de 34,155V e a máxima potência na temperatura máxima de operação do inversor ($V_{mpTmáx}$) é de 46,471V.

Com os dados obtidos e com a utilização da Equação 7 têm-se que:

$$\begin{aligned} \frac{Vi_{mín}}{V_{mpTmáx}} &< Nm_{SÉRIE} < \frac{Vi_{máx}}{V_{mpTmín}} \\ \frac{80V}{49,471V} &< 7 < \frac{550V}{34,155V} \\ 1,61 &< 7 < 16,10 \end{aligned}$$

Isto posto, entende-se que o número de módulos em série por string é adequado para a faixa de tensão de operação do inversor.

5.2.2.4. Corrente máxima CC para o inversor

Para que o sistema seja dimensionado da forma correta, o valor da corrente máxima CC do inversor deve ser superior a corrente de curto circuito do conjunto de módulos. Desta forma, para a situação estudada, todos os módulos serão conectados em série, e consequentemente o número de módulos em paralelo ($Nm_{PARALELO}$) será igual a 1, portanto, de acordo com a Tabela 2 o valor da corrente de curto circuito (I_{sc}) é de 11,58 A. Utilizando a Tabela 3, afirma-se que a Corrente máxima suportada na entrada do inversor ($I_{i_{máx}}$) é de 12,5 A, logo, com os valores obtidos e utilizando a Equação 8 obtêm-se que:

$$Nm_{PARALELO} \cong \frac{I_{i_{máx}}}{I_{sc}}$$

$$1 \cong \frac{12,5}{11,58}$$

$$1 \cong 1,079$$

Dado o exposto, é possível afirmar que o número de módulos em paralelo do sistema mostra-se adequado.

5.2.3. Projeto do sistema fotovoltaico

Dado o dimensionamento das placas e do inversor, os principais elementos necessários para a montagem do sistema fotovoltaico projetado são mostrados pela Tabela 3.

Tabela 4 – Equipamentos utilizados

Equipamento	Quantidade
Painel Znshine 450W vidro duplo bifacial Halfcell	14
Inversor solar Growatt de 6 kW Monofasico 220V 2MPPT	1
Cabo 1 x 6,00mm - 0,6/1kV AC - 1,8kV DC - Vermelho	50 m
Cabo 1 x 6,00mm - 0,6/1kV AC - 1,8kV DC - Preto	50 m
Kit completo de telha cerâmica de fixação em madeira	4

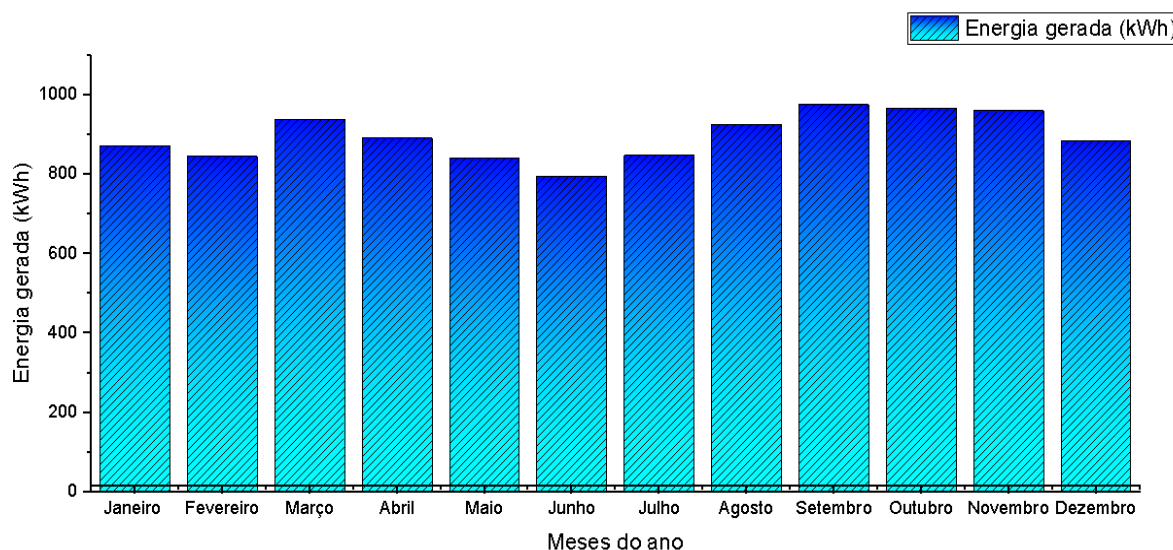
Fonte: Autoria própria (2022)

O sistema fotovoltaico projetado para a residência estudada compreenderá um total 14 placas, que serão agrupadas em dois arranjos de 7 módulos cada. Os módulos utilizados compreendem uma área de aproximadamente 2m², e deste modo, dada a quantidade e a

organização dos painéis, pode-se concluir que o conjunto fotovoltaico terá uma área de aproximadamente 28m².

A estimativa da energia gerada pelo sistema fotovoltaico projetado para cada mês do ano é mostrada pela Figura 15.

Figura 14 – Geração de energia anual estimada



Fonte: Autoria própria (2022)

A geração de energia estimada pelo sistema em cada mês foi feita com a utilização da potência total das placas, a eficiência do sistema e a irradiação que incide no local da instalação segundo dados do CRESESB (2018), e os valores obtidos foram calculados com a utilização da Equação 3.

Nota-se que em todos os meses a geração estimada mostra valores acima do consumo total da residência. Isto se dá pelo fato de que os valores obtidos foram estimados com a utilização de dados encontrados em condições de geração favoráveis, e desta forma, a estimativa realizada busca proporcionar ao proprietário um sistema que apresente geração equivalente ao consumo total da residência mesmo em condições não favoráveis de funcionamento.

6. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi verificado o avanço das instalações fotovoltaicas, com base em dados de três empresas do setor solar que possuem projetos na cidade de Caraúbas RN, bem como um estudo de caso, onde foram realizados o dimensionamento e a análise da viabilidade técnica e para a instalação de uma micro usina fotovoltaica em uma residência unifamiliar localizada nas imediações do município de Caraúbas-RN.

Os três empreendimentos estudados apresentaram um significativo avanço, tanto em seu número de projetos quanto em sua área geográfica. Destaca-se que todas as empresas obtiveram seu maior significativo número de instalações realizadas no ano de 2021, o que demonstra coerência com os estudos que mostram que o Brasil em 2021 apresentou um de seus maiores crescimentos no número de usinas fotovoltaicas.

Para o estudo de caso observou-se que há viabilidade técnica para a situação analisada. Por meio do estudo realizado, foi possível constatar que a região Nordeste do Brasil mostra um notável potencial para instalações fotovoltaicas, uma vez que a região, principalmente em cidades do interior do estado onde há menos poluição atmosférica, possui o maior índice de irradiação do país. Outro fato que demonstra que a energia solar é uma opção viável é o fato de que, apesar de necessitar de um alto investimento, os conjuntos fotovoltaicos apresentam um significativo retorno para o investidor, uma vez que as micro usinas fotovoltaicas proporcionam ao proprietário significativa economia na tarifa mensal de energia e a maior parte dos projetos fotovoltaicos apresentam uma longa vida útil, podendo funcionar por até mais de 25 anos.

Apesar de terem sido cumpridos todos os objetivos para a atual análise, não foi possível observar o comportamento do projeto fotovoltaico do estudo após a sua instalação, bem como, também não foi possível a expansão da área de pesquisa de forma a abranger de modo mais significativa a região Nordeste e o estado do Rio Grande do Norte. Portanto, para estudos futuros na área de instalações fotovoltaicas, considerando o notável potencial da região Nordeste para o uso da energia solar, é recomendado que seja expandido o estudo para a região Nordeste do Brasil como um todo, de modo a observar os impactos, positivos e negativos, que possam ser causados pelo incentivo ao uso da energia solar fotovoltaica na região.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. ABSOLAR. **Energia fotovoltaica segue em plena expansão no Brasil**. São Paulo: Revista do Frio, 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-fotovoltaica-segue-em-plenaexpansao-no-brasil/>. Acesso em: 24 abr. 2022.

ALENCAR, C. A. de; JÚNIOR, J. U. Usinas solares fotovoltaicas no Brasil: Panorama atual e perspectivas futuras. **12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications**, Curitiba, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 482. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. 17 abr. 2012.

Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2021 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2022.

BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. 1 ed. Rio de Janeiro: GEN, 2019.

BRADACZ, E. **ANALISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 250kWp CONECTADO À REDE E INSTALADO EM UMA PROPRIEDADE RURAL NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ**. Orientador: Dr. Elisandro Pires Frigo. 2020. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavél - PA, 2020.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB). **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. Publicado em: 11 de junho de 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=4. Acesso em: 14.Jul.2022.

DA ROCHA, M. F.; JÚNIOR, M. A. A.; FILHO, E. S. D. da S.; RODRIGUES, R.; SANTOS, S. C. B.. **Materiais Elétricos**. Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÃO S.A., 2018

DIAS, M. V. X.; BOROTNI, E. da C.; HADDAD, J. Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreira. **Revista Brasileira de Energia**, Brasil: SBPE - Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, ano 2005, n. 2, p. 1-11, 6 fev. 2005.

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P. de; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 18, n. 4, 2017.

GASPARIN, F. B; LIMA, V. O. D. de; MICHELETTI, D. H.; BURIN, E. L.K. The Influence of Public Policies for the Progress of Photovoltaic Solar Generation and Diversification of The Brazilian Energy Matrix. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 77-81, 2022. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

GOVERNO FEDERAL. **Ministério de Minas e Energia**. Governo publica Medida Provisória para tratar dos custos da escassez hídrica. [S.l.]. Ministério de Minas e Energia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/governo-publica-medida-provisoria-para-tratar-dos-custos-da-escassez-hidrica-1>. Acesso em: 14 ago. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **LABREN**. Dados de irradiação para o Estado do RIO GRANDE DO NORTE. [S.l.]. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017_RN.html. Acesso em: 12 ago. 2022.

JÚNIOR, J. M. de A. W.; MARTIN, A. A.; MARGOTI, L. M.; ROSPIRSKI, A.; CESAR, D. F. **Elettricidade**. Porto Alegre: SAGAH, 2021.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B. de; ROBBA, E. J. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2. ed. Blucher Ltda: Blucher, 2000

LOPES, J. R. A. **IMPACTOS AMBIENTAIS DA PEDREIRA NO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS-RN**. Orientador: Dra. Pollyanna Freire Montenegro Agra. 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, Ciência e Tecnologia, UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, Pau dos Ferros- RN, 2017.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, Niterói-RJ: Universidade Federal Fluminense, ed. 7, ano 2015, p. 126-143, 14 out. 2014.

MELO, F. C. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO ESTUDO DE CASO: ESTÁDIO ADERBAL RAMOS DA SILVA**. Orientador: Jefferson Luiz Brum Marques. 2020. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CAMPUS FLORIANÓPOLIS, FLORIANÓPOLIS, 2020.

MOREIRA, J. R. S. Energias Renováveis, **Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

PEREIRA, B. E. L. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM SÍTIO AEROPORTUARIO**. Orientador: Alexandre Aparecido Buenos. 2017. 67 f. v. 1, TCC (Especialização) - Curso de Pós-graduação em eficiência energética aplicada aos processos produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Novo Hamburgo - RS, 2017.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RUTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, São José dos Campos - Brasil, v. 2, p. 9-80, jul. 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar, 2014.

POMILIO, José Antenor; PAREDES, Helmo Kelis Morales; OTA, João Inácio Yutaka; DECKMANN, Sigmar Maurer. **Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. Campinas: Unicamp, 2021.

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. Metodologia da pesquisa aplicável às Ciências Sociais. In: BEUREN, I. M. **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2004, p. 76-97.

RELLA, R. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL**. Revista de Iniciação Científica, Criciúma, v. 15, n. 1, p. 1-11, 2017.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: Métodos e Técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RIO GRANDE DO NORTE. [Constituição (03 de outubro de 1989)]. **CONSTITUIÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**. Organização do texto: Assembleia Legislativa do Rio Grande do Norte. Com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nos 01/1993 a 21/2020.. ed. Natal - RN: Assembleia Legislativa, 2020. 189. p.

ROSA, A. R. O. da; GASPARIN, F. P. **PANORAMA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL**. Revista Brasileira de Energia Solar, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, ed. 7, ano 2016, n. 2, p. 140-147, dez. 2016.

SILVEIRA, P. G. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinião Jurídica**, [S.L.], v. 17, n. 33, p. 123-148, 2018. Universidad de Medellin.

SOUZA, A. F.; BESSA, F. C.; SILVA, L. G. P. **Estudo da Viabilidade Técnica da Instalação de uma Micro Usina Fotovoltaica para Iluminação da Praça Tiradentes na Cidade de Teófilo Otoni-MG**. 2018. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Elétrica, Curso de Engenharia Elétrica, Faculdades Unificadas Teófilo, Teófilo Otoni, 2018.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Orientador: Paulo Seleglim Junior. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2012.

VERA, L. H. **Programa computacional para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos autônomos**. Orientador: Prof. Dr. Arno Krenzinger . 2004. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 11 de julho de 2004.

VIAN, A.; TAHAN, C. M. V.; AGUILAR, G. J. R.; GOUVEA, M. R.; GEMIGNANI, M. M. F. **Energia Solar: fundamentos, tecnologia e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2021.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, v. 1, 2015.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia de Pesquisa**. 2. ed. Florianópolis: Ufsc, 2013.

ZANETTA JR, L. C. **Fundamentos de sistemas elétricos de potência**. São Paulo: Livraria de Física, 2006.

APÊNDICE A – Checklist enviado para as empresas

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
CHECKLIST**

Título: Potencialidade da implementação de uma micro usina fotovoltaica: Um estudo de caso em uma residência unifamiliar e empresas do setor.

Discente: Saulo Gabryel Alves de Almeida

- 1. Qual o ano de abertura da empresa?**
- 2. Qual era o foco da empresa quando foi aberta?**
- 3. Quais foram os locais onde foram feitos os primeiros sistemas fotovoltaicos da empresa?**
- 4. Quais eram os principais tipos de projetos feitos no primeiro ano da empresa?**
- 5. Qual a potência instalada no primeiro ano da empresa?**
- 6. Quantidade de projetos feitos no primeiro ano da empresa?**
- 7. Qual é o foco da empresa atualmente?**
- 8. Atualmente, quais são os locais onde a empresa presta serviço?**
- 9. Quais são os principais tipos de projetos feitos pela empresa atualmente?**
- 10. Qual a potência instalada no ano de 2021 pela empresa?**
- 11. Qual a quantidade de projetos feitos pela empresa no ano de 2021?**