

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE RESENDE  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA COM ENFÂSE EM ELETRÔNICA

Gustavo Vitor da Silva

Larissa de Andrade Coutinho

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA CIDADE DE RESENDE

RESENDE

2022

Gustavo Vitor da Silva

Larissa de Andrade Coutinho

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA CIDADE DE RESENDE

Monografia apresentada à Associação Educacional Dom Bosco, Faculdade de Engenharia de Resende Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. MSc. Luiz Fernando Ribas Monteiro

RESENDE

2022

Catálogo na fonte  
Biblioteca Central da Associação Educacional Dom Bosco – Resende-RJ

S586 Silva, Gustavo Vitor da  
Estudo da viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar na cidade de Resende / Gustavo Vitor da Silva; Larissa de Andrade Coutinho - 2022.  
72f.

Orientador: Luiz Fernando Ribas Monteiro  
Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à finalização do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Resende da Associação Educacional Dom Bosco.

1. Engenharia elétrica. 2. Sistema fotovoltaico. 3. Residência unifamiliar. 4. Resende. 5. Energia solar. I. Coutinho, Larissa de Andrade. II. Monteiro, Luiz Fernando Ribas. III. Faculdade de Engenharia de Resende. IV. Associação Educacional Dom Bosco. V. Título.

CDU 620.91(043)

Gustavo Vitor da Silva

Larissa de Andrade Coutinho

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA CIDADE DE RESENDE

Monografia apresentada à Associação Educacional Dom Bosco, Faculdade de Engenharia de Resende Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**BANCA AVALIADORA:**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana Ribas Monteiro

---

Prof. MSc. Luiz Fernando Ribas Monteiro  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Nilson Rodrigues da Silva

Resende, 17 de dezembro de 2022.

Dedicamos esse trabalho aos nossos pais, por sempre acreditarem em nossos sonhos e não medirem esforços para que eles se realizem.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente à Deus, por ter nos dado força durante toda essa caminhada, sem ele nada disso seria possível.

Agradecemos aos nosso pais, Elisângela Aparecida da Silva e Nesio Dutra de Sá, Maurícia de Andrade Coutinho e Rogério da Silva Coutinho, por todo investimento em nossa educação, por todo apoio e incentivo e por sempre acreditarem em nossos sonhos, nos dando todo suporte necessário para irmos em busca de nossos objetivos.

À minha irmã Ana Clara de Andrade Coutinho, pelo companheirismo e apoio durante toda essa etapa.

Ao nosso Orientador Luiz Fernando Ribas Monteiro, por ter nós ajudado em todas as etapas e pela orientação que fez esse trabalho se tornar possível.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram em nossa formação, muito obrigado.

“Só quem suporta o processo vive o propósito.”

Wladimir Moreira Dias

## RESUMO

A implantação de sistemas fotovoltaicos na cidade de Resende tem crescido de forma gradativa nos últimos anos e essa tecnologia tem se mostrado uma alternativa para uma geração sustentável de energia elétrica no país. É de suma importância a realização de estudos sobre a viabilidade de instalação de painéis solares, levando em consideração a incidência solar no local escolhido para instalação. O projeto em questão abordará a viabilidade de implantação de um sistema Fotovoltaico em uma Residência unifamiliar na cidade de Resende, apresentando as vantagens e benefícios de possuir essa tecnologia em sua Residência atualmente. Dessa forma os dados de consumo da residência e os dados necessários para realização de cálculos e estimativas são levantados para que possam ser selecionados os componentes do sistema e trazer uma estimativa de *Payback* descontado, demonstrando em quanto tempo o sistema se paga e começa a gerar caixa. Após todos os cálculos realizados é possível estimar um retorno em aproximadamente três anos, comprovando que o sistema escolhido foi bem projetado, possuindo uma boa viabilidade financeira e com um investimento relativamente baixo.

**Palavras-chave:** Sistemas Fotovoltaicos; Energia Solar; Residência; *Payback*.



## **ABSTRACT**

The deployment of photovoltaic systems in the city of Resende has grown gradually in recent years and this technology has proven to be an alternative for sustainable power generation in the country. And it is of utmost importance to study the feasibility of installing solar panels, taking into account the solar incidence in the chosen location for installation. The project in question will approach the feasibility of the implementation of a photovoltaic system in a single-family residence in the city of Resende, presenting the advantages and benefits of having this technology in your residence today. In this way the data of consumption of the residence and necessary data for calculations and estimates are raised so that it can be selected the components of the system and bring an estimate of discounted payback, demonstrating in how long the system pays itself and begins to generate cash. Concluding a payback in approximately three years proving that the system was well designed and has a good financial viability with a relatively low investment.

**Keywords:** Photovoltaic Systems; Solar Energy; Residence; Payback.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz Energética Mundial 2019 .....	21
Figura 2: Matriz Energética Mundial 2020 .....	22
Figura 3: Comparação do consumo de energia em 2019 .....	23
Figura 4: Matriz Elétrica Mundial 2019 .....	24
Figura 5: Matriz Elétrica Brasileira.....	25
Figura 6: Expansão da Matriz Elétrica Brasileira.....	26
Figura 7: Estrutura Atômica .....	27
Figura 8: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil .....	29
Figura 9: Painéis Solares.....	31
Figura 10: Benefícios da Fonte Solar Fotovoltaica ao Brasil .....	31
Figura 11: Painel Solar.....	32
Figura 12: Célula Fotovoltaica .....	33
Figura 13: Efeito Fotovoltaico .....	34
Figura 14: Elemento Silício.....	34
Figura 15: Célula de silício monocristalino.....	35
Figura 16: Célula de silício policristalino .....	36
Figura 17: Silício Amorfo .....	37
Figura 18: Modelo de Módulos ligados em Paralelo .....	38
Figura 19: Modelo de Módulos ligados em Série .....	38
Figura 20: Painel Solar de Silício Monocristalino.....	40
Figura 21: Painel Solar de Silício Policristalino.....	41
Figura 22: Painel Solar de Silício Amorfo .....	42
Figura 23: Instalação de Placas Solares em sistema <i>ON-GRID</i> .....	44
Figura 24: Instalação de Placas Solares em sistema <i>OFF-GRID</i> .....	45
Figura 25 – Localização da Moradia em Estudo, na cidade de Resende-RJ.....	46
Figura 26 – Imagem da Residência em Estudo.....	47

<b>Figura 27 – Telhado da cobertura .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 28 – Placa Fotovoltaica ODA465-36V-MH .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 29 – Inversor de Carga SUN2000G3-US-220 .....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Irradiação solar Resende-RJ.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 2 – Irradiação solar Barra Mansa-RJ.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabela 3 – Irradiação solar Volta Redonda-RJ.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 4 - Especificações técnicas Placa Fotovoltaica .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabela 5 - Especificações técnicas Inversor de Carga .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 6 – Orçamento Previsto .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 7 – Projeção de Geração de Energia.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 8 – <i>Payback</i> Descontado.....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1: Vantagem e Desvantagem dos Painéis Solares Monocristalinos .....</b>	<b>39</b>
<b>Quadro 2: Vantagem e Desvantagem dos Painéis Solares Policristalinos.....</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 3: Vantagem e Desvantagem dos Painéis Solares de Silício Amorfo ...</b>	<b>42</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 – Dados Irradiação Solar – Resende-RJ</b> .....	57
<b>Gráfico 2 – Dados Irradiação Solar – Barra Mansa-RJ</b> .....	58
<b>Gráfico 3 – Dados Irradiação Solar – Volta Redonda-RJ</b> .....	59
<b>Gráfico 4 – Consumo de Energia</b> .....	61
<b>Gráfico 5 – <i>Payback</i> Descontado</b> .....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS

**ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica**

**ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica**

**a-Si – Silício Amorfo**

**CdTe – Painel solar de telureto de cádmio**

**CFO – Células fotovoltaicas orgânicas**

**CIS /CIGS – Painéis solares de seleneto de cobre, índio e gálio**

**CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**

**E – Consumo diário médio anual de energia elétrica da edificação**

**EPE – Empresa de Pesquisa Energética**

**FDI – Fator de dimensionamento do inversor**

**HJT – Painel solar híbrido**

**HSP – Horas de Sol Pleno**

**HSPMA – Média diária anual de HSP que é projetada na placa**

**mono-Si – Silício Monocristalino**

**MPPT – Rastreamento do ponto de máxima potência (maximum power point tracking)**

**NP – Números de placas**

**PNca – Potência nominal em corrente alternada do inversor**

**poly-Si – Silício Policristalino**

**PPGP – Potência de pico de geração da placa**

**PPP – Potência de pico da placa**

**SGEF – Sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica**

**SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL**

**TD – Taxa de desempenho**

**Vimáx (V) – Máxima tensão c.c admitida pela entrada do inversor de carga;**

**VocTmín (V) – Tensão em circuito aberto (Voc) de um módulo FV em menores temperaturas de operação prevista.**



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	18
1.1 Objetivos .....	19
1.1.1 Objetivo geral.....	19
1.1.2 Objetivos específicos .....	19
1.2 Justificativa .....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Matriz energética mundial .....	21
2.2 Matriz energética no Brasil.....	22
2.3 Matriz elétrica no mundo .....	23
2.4 Matriz elétrica no Brasil.....	24
2.5 Energia elétrica no Brasil .....	26
2.6 Energia solar .....	28
2.7 Energia solar fotovoltaica.....	28
2.7.1. Sistemas fotovoltaicos .....	29
2.7.2. Benefícios da energia solar fotovoltaica .....	31
2.8 Placas fotovoltaicas .....	32
2.9 Células fotovoltaicas .....	33
2.9.1. Efeito fotovoltaico.....	33
2.9.2. Silício monocristalino .....	35
2.9.3. Silício policristalino.....	36
2.9.4. Silício amorfo .....	36
2.10 Tipos de módulos.....	37
2.11 Tipos de sistema fotovoltaicos .....	43
2.11.1. Sistemas fotovoltaicos interligados a rede ( <i>ON-GRID</i> ) .....	43
2.11.2 Sistemas fotovoltaicos autônomos ( <i>OFF-GRID</i> ).....	45

3 METODOLOGIA.....	46
3.1 Apresentação do local de estudo .....	46
3.2 Dados de incidência solar da região .....	48
3.3 Configuração do sistema .....	50
3.4 Aspectos dimensionais .....	51
3.4.1 Demanda de energia .....	51
3.4.2 Dimensionamento das placas fotovoltaicas .....	52
3.4.3 Dimensionamento da quantidade placas fotovoltaicas .....	52
3.4.4 Dimensionamento do inversor de carga .....	53
3.5 Análise financeira de viabilidade .....	55
4 RESULTADOS E ANÁLISES .....	56
4.1 Dados de irradiação solar .....	56
4.2 Escolha da configuração do sistema.....	60
4.3 Aspectos Dimensionais.....	60
4.3.1 Demanda de Energia .....	60
4.3.2 Dimensionamento das placas fotovoltaicas .....	61
4.3.3 Dimensionamento da quantidade placas fotovoltaicas .....	62
4.3.4 Dimensionamento do Inversor de Carga .....	63
4.4 Orçamento de implementação previsto.....	65
4.5 Análise Financeira de Viabilidade .....	65
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	68
5.1 Pesquisas futuras.....	68
BIBLIOGRAFIA .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

A Energia Elétrica é um item importante para à espécie humana, com o passar dos anos o desenvolvimento do setor industrial cresceu de forma gradativa e a utilização de dispositivos eletroeletrônicos em residências tem sido cada vez mais frequente, acarretando uma grande demanda de energia elétrica.

Com a alta utilização de fontes não renováveis, o impacto ambiental tem sido altamente degradante e um dos temas mais discutidos atualmente é a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras, a energia solar é uma fonte de energia sustentável, limpa e alternativa, por conta disso a instalação de sistemas fotovoltaicos tem ganhado bastante força no mercado atual.

Esse sistema faz a utilização de placas solares, esses equipamentos são compostos por células fotovoltaicas, fabricadas em silício e são utilizadas para realizar a conversão da luz solar em energia elétrica por meio da captação dos raios solares e quanto maior for à incidência de radiação solar sobre as placas solares instaladas na residência, a quantidade de energia elétrica produzida será maior.

No Brasil apesar de não existirem muitos incentivos para que a população migre cada vez mais para formas alternativas de geração de energia, como a geração de energia solar, o mercado interno tem crescido devido a alguns fatores, como a conscientização da população quanto aos gastos e a busca por uma forma de se adaptar a fim de encontrarem um método efetivo de economia, já que o país sofre uma inflação contínua que diminui o poder aquisitivo da população.

Devido a outros estudos e implementações realizados anteriormente por diversas faculdades e empresas que comprovaram as capacidades de sistemas de geração de energia fotovoltaica, o trabalho em questão busca trazer o estudo da viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico em uma residência de unifamiliar na cidade de Resende, dessa forma levantando dados e realizando análises para que ao final seja discutido se a implementação do sistema previsto terá capacidade de suprir as necessidades da residência e quanto a possibilidade de economia.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O Trabalho em questão tem como objetivo a realização de um estudo sobre a viabilidade de implantação de um sistema Fotovoltaico em uma Residência unifamiliar na cidade de Resende.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Abordar um estudo teórico de um projeto sobre a viabilidade de implantação de um sistema Fotovoltaico em uma Residência unifamiliar na cidade de Resende;
- Apresentar o melhor sistema de geração de energia solar, levando em consideração o melhor custo-benefício;
- Apresentar os conceitos referentes à geração de energia elétrica relacionada à energia fotovoltaica;
- Expor os cálculos da viabilidade econômica do sistema, apresentando o tempo de retorno do investimento inicial;
- Apresentar as vantagens e desvantagens do sistema fotovoltaico;
- Fornecer material de consulta para pessoas que tenham interesse em realizar a instalação desse sistema em sua residência.

## **1.2 Justificativa**

Considerando que a importância de utilização de métodos para a preservação ambiental vem crescendo ao decorrer dos anos, é necessário o incentivo a utilização de fontes renováveis, como a energia solar. Essa energia é uma das fontes mais indicadas por possuir a vantagem de produção no local da instalação. Com isso, é necessário apresentar estudos a sociedade, a fim de incentivá-las a implantar essa tecnologia em sua residência. As energias renováveis não realizam a produção de

resíduos e não consomem combustíveis que podem prejudicar a natureza, sendo assim, uma fonte promissora, confiável e silenciosa de energia elétrica. [1]

É possível notar que durante os últimos anos houve uma preocupação maior por parte do governo brasileiro em expandir a utilização de energias renováveis no país, em específico a energia fotovoltaica. Foi aprovada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a permissão de utilização de pequenos geradores em residências, trocando assim a energia com a distribuidora da região, refletindo em uma redução da fatura de energia [1].

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Matriz energética mundial

A matriz energética está se desenvolvendo de forma exponencial ao longo dos anos, devido a evolução do mundo, atendendo de forma rápida a necessidade da humanidade [2]. A matriz Energética é formada por fontes disponíveis de energia elétrica no país, estado ou mundo. Essa matriz é composta principalmente por fontes não renováveis, sendo o Petróleo e Derivados, Carvão Mineral e Gás Natural as principais fontes [3].

É notório que as fontes de energia atuais se esgotarão um dia, por isso é necessário a busca de novas fontes e novas tecnologias para não levar os meios atuais a escassez [4]. Na Figura 1, as fontes renováveis são representadas como “Outros” sendo apenas 2% da Matriz energética Mundial.

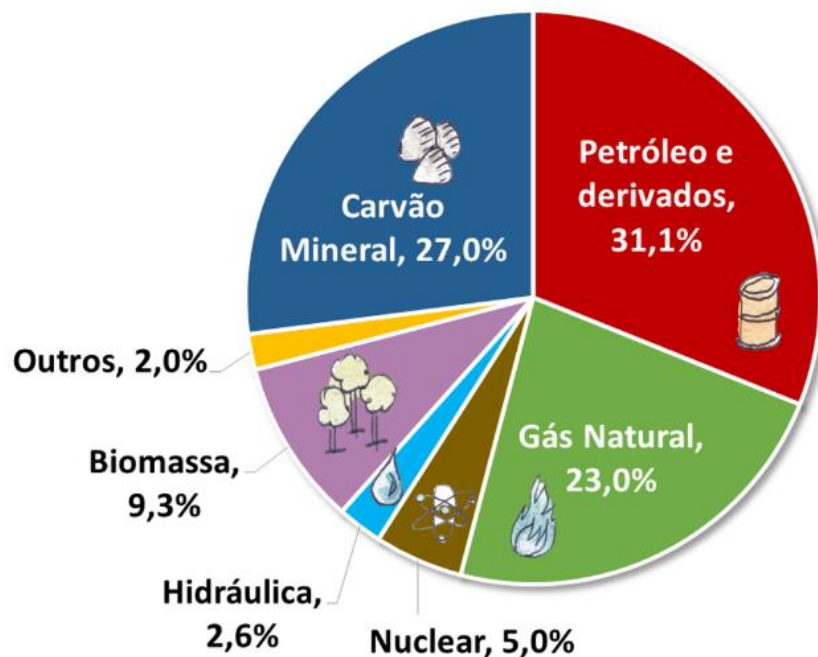


Figura 1: Matriz Energética Mundial 2019

Fonte: [3]

## 2.2 Matriz energética no Brasil

Diferente da Matriz Energética Mundial, o Brasil possui uma maior utilização de fontes renováveis, as fontes disponíveis como: Derivados de cana-de-açúcar, Hidráulica, Lenha e carvão vegetal e outras renováveis, somatizam cerca de 48,3%, sendo quase metade da matriz energética total. Na figura 2, são apresentadas as fontes que compõem a Matriz Energética do Brasil [3].

No decorrer dos últimos 20 anos, ocorreu uma evolução de geração de energia elétrica, com aumento também da capacidade instalada (GW), houve investimento do governo nessa área de energias renováveis, sabendo que as hidrelétricas sozinhas não serão capazes de suprir as necessidades da população e das indústrias nos próximos anos, mesmos que atualmente elas são responsáveis por mais da metade de fornecimento de energia no Brasil [4].

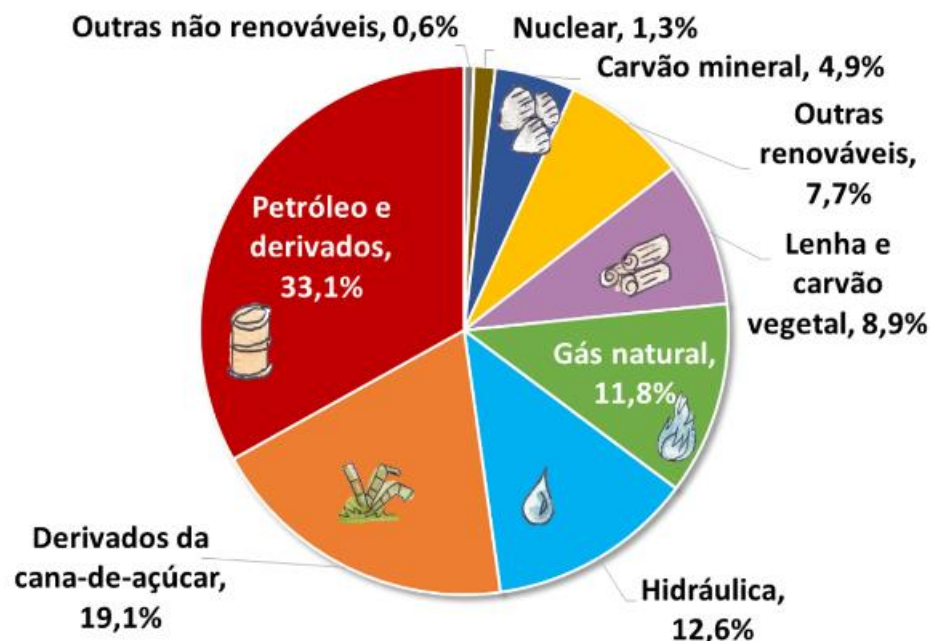


Figura 2: Matriz Energética Brasileira 2020

Fonte: [3]

Na Figura 3, pode-se perceber que a Matriz Energética do Brasil é muito mais renovável que a do Mundo, esse é um ponto muito positivo, pois as fontes não

renováveis são as responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa na natureza, causando diversos danos ao meio ambiente como o derretimento de massas glaciais, chuvas ácidas, inundação de cidades costeiras, poluição do ar, desertificação de áreas férteis, entre outros [3].

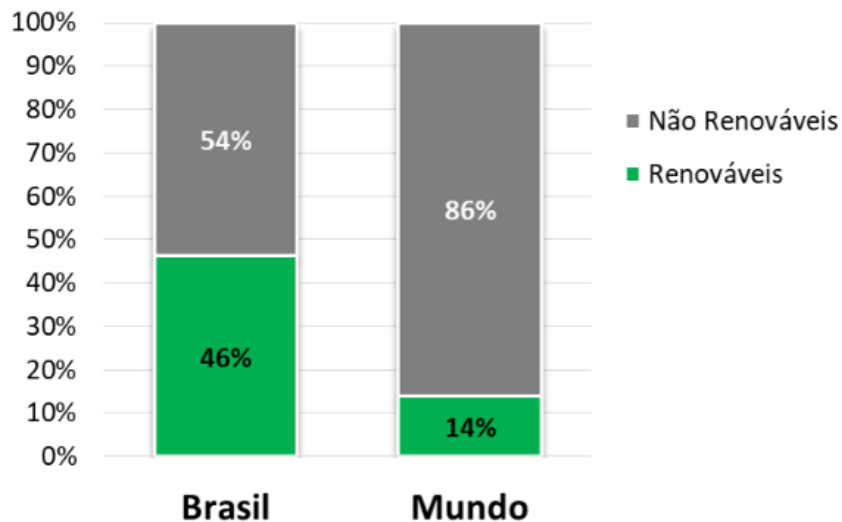


Figura 3: Comparação do consumo de energia em 2019

Fonte: [3]

### 2.3 Matriz elétrica no mundo

A Matriz elétrica apresenta somente fontes responsáveis pela geração de energia elétrica, item muito importante para nossa sobrevivência e desenvolvimento Mundial, pois utiliza-se a energia elétrica em quase tudo na rotina do dia a dia, como: acender a luz, ligar os eletrodomésticos e eletrônicos etc. [3].

No mundo a maior parte de sua geração é baseada na utilização de combustíveis fósseis como: Carvão Mineral, Termelétricas, óleo e gás Natural.



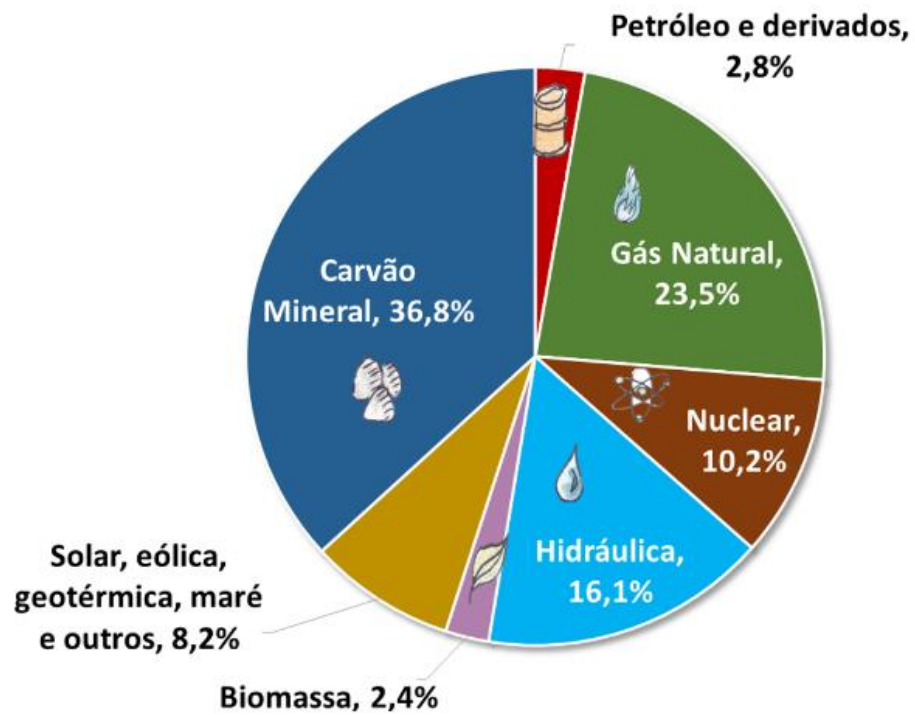


Figura 4: Matriz Elétrica Mundial 2019

Fonte: [3]

#### 2.4 Matriz elétrica no Brasil

O Brasil apresenta uma matriz Elétrica mais renovável que sua matriz Energética, isso acontece, pois, a maior parte da geração é proveniente das usinas hidrelétricas. Com o desenvolvimento da humanidade, as outras fontes renováveis vêm ganhando força e aumentando a cada dia [3].

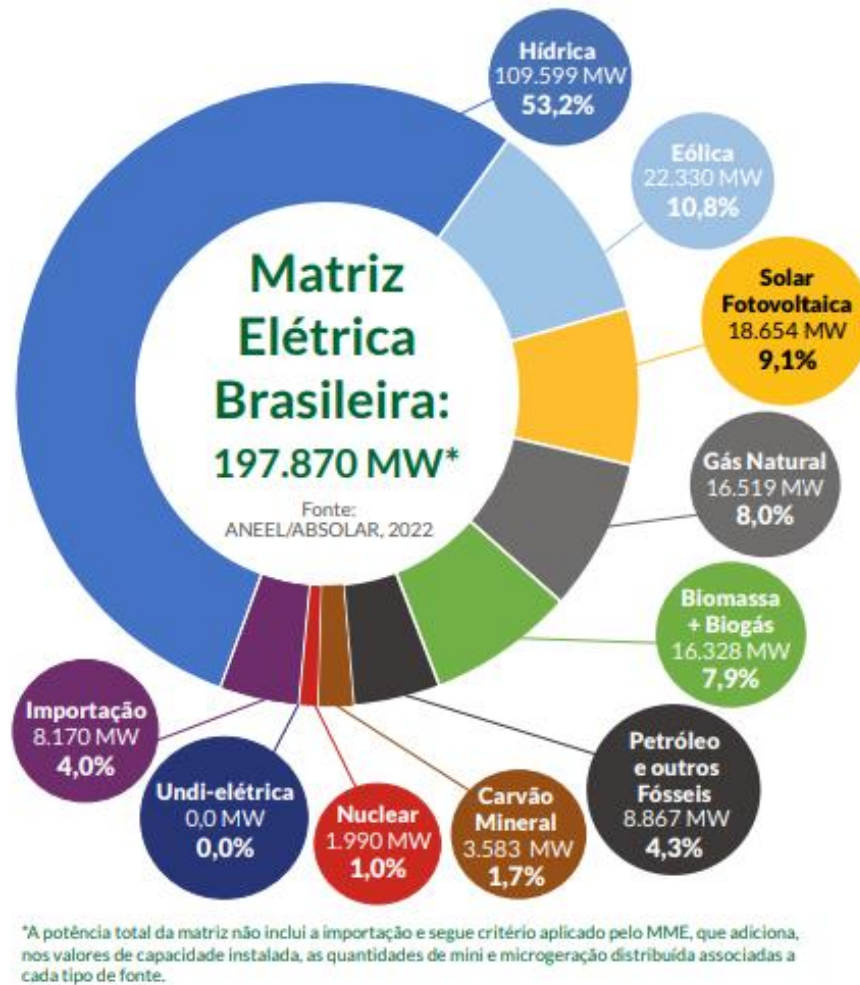


Figura 5: Matriz Elétrica Brasileira

Fonte: [5]

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a Matriz Elétrica no Brasil possui uma potência total de 197.870MW, sendo 60% desse total de energia consumida, proveniente de usinas hidrelétricas, dado esse verificado no ano de 2022 [5].

Segundo o site EPE (Empresa de Pesquisa Energética), os estados que possuíram maior expansão na capacidade de geração elétrica até o momento são: Bahia com cerca de 556,02 MW, Rio Grande do Norte com 521,14 MW e Minas Gerais com 456,05 MW [3].

De acordo com dados apresentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Figura 6, a matriz elétrica do Brasil teve um crescimento de 708,78 MW, dado esse atualizado no mês de agosto de 2022, sendo desse total

47% provenientes de usinas solares fotovoltaica, além disso é esperado uma entrada de mais de 2,4GW em operações. A expansão total dessa tecnologia no ano de 2022 foi de 3.124MW [5].

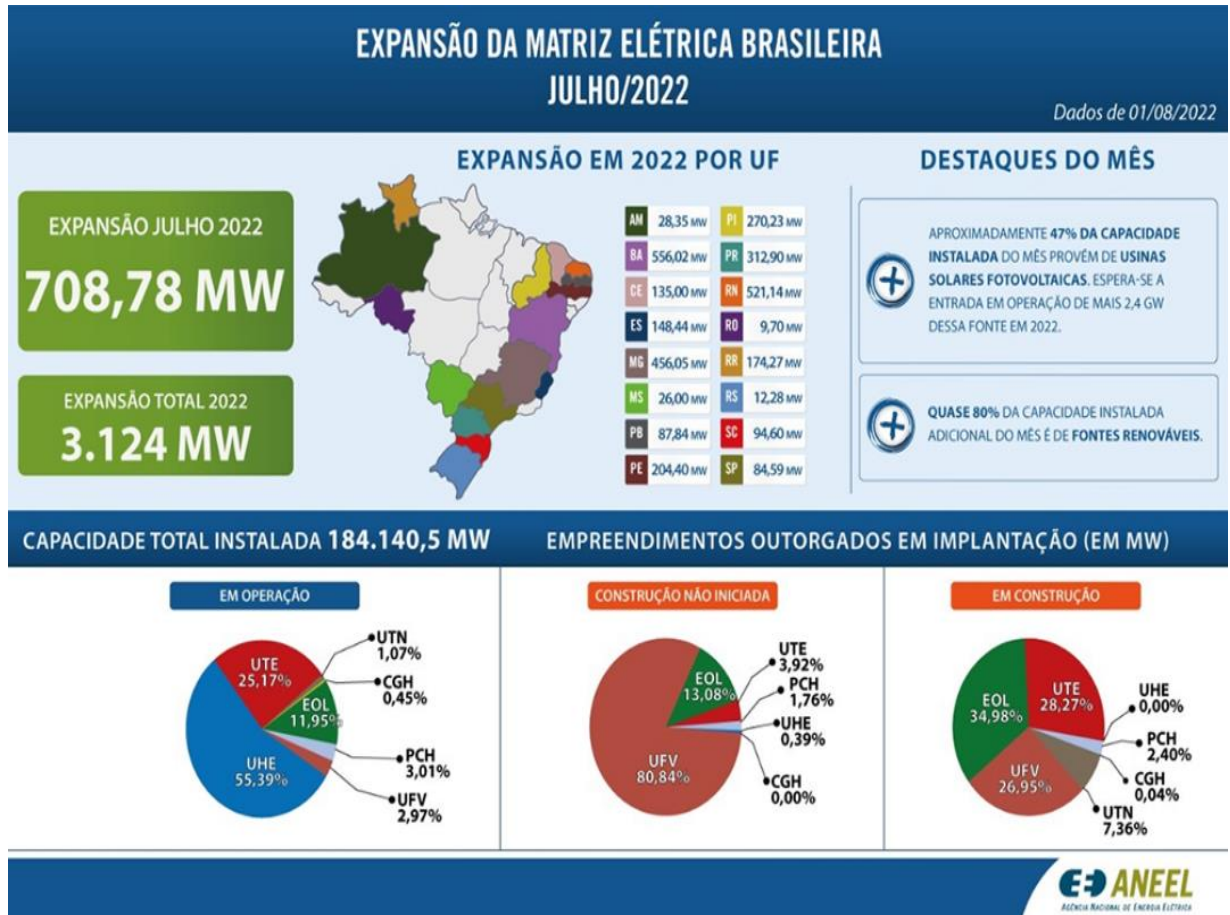


Figura 6: Expansão da Matriz Elétrica Brasileira

Fonte: [5]

Segundo o SIGA-Sistema de Informações de Geração da ANEEL, até o mês de junho a potência total instalada no Brasil, foi cerca de 184.140,5 MW, sendo 83,13% desse valor são de usinas impulsionadas por fontes sustentáveis, produzindo um teor considerado baixo de emissão de gases do efeito estufa [5].

## 2.5 Energia elétrica no Brasil

Com a evolução da humanidade, houve uma maior necessidade de geração de energia, sendo seu pico inicial na época da Revolução Industrial, quando a

utilização de combustíveis fósseis para a geração foi iniciada, trazendo assim benefícios à sociedade [2].

A energia elétrica é proveniente da capacidade que uma corrente elétrica possui de realizar trabalho, ela é concebida quando ocorre uma diferença de potencial entre dois pontos de um condutor, ocasionando assim uma corrente elétrica. Ela pode ser obtida por meios físicos, químicos ou mecânicos. A estrutura atômica de um átomo possui partes as quais são classificadas como, Próton sendo a carga positiva e localizada no núcleo do átomo, elétron sendo a carga negativa localizada na eletrosfera, localizada ao redor do núcleo e os nêutrons, não possuindo cargas positivas e nem negativas [6].

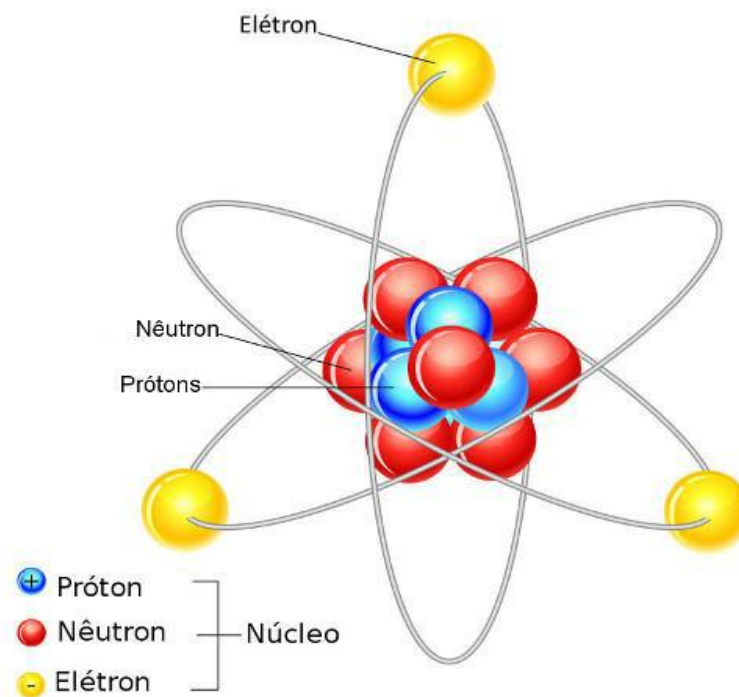


Figura 7: Estrutura Atômica

Fonte: [7]

O método de geração de eletricidade mais utilizado no Brasil é proveniente da força das águas que fazem o movimento das turbinas, conhecido também como usinas hidrelétricas, mas sua produção pode ser realizada por meio das usinas eólicas, solares, termoelétricas, nucleares etc. [7].

## 2.6 Energia solar

O sol é uma estrela, localizada a 150 milhões de quilômetros da terra, ele é responsável por fornecer cerca de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia para nosso planeta por ano. Esse valor corresponde à 10.000 vezes o valor do consumo mundial de energia anual. É uma fonte energética inesgotável, sendo o principal responsável pela manutenção da vida terrestre. Essa energia pode ser captada por meio de sistemas de captação e conversão transformando em energia térmica, elétrica e etc. [8].

Uma das vantagens da energia solar é poder ser utilizada em áreas mais afastadas que ainda não são eletrificadas. O Brasil apresenta um alto índice de insolação em todo seu território, sendo assim, uma enorme característica para o sistema do meio ambiente, pois o sol trabalha como um reator, emitindo uma radiação diária [19].

O processo de fusão nuclear é proveniente da energia solar, essa fusão acontece quando os átomos de hidrogênio se fundem entre si, gerando átomos de hélio, essa união gera calor e libera luz, irradiando energia para a terra, a qual é conhecida como radiação eletromagnética [20].

## 2.7 Energia solar fotovoltaica

Em 1839, Edmond Becquerel realizou uma constatação de diferença de potencial em um material semicondutor, quando os extremos de sua estrutura foram colocados à exposição da luz solar, já em 1876 após estudos, foi criada a primeira versão de uma estrutura fotovoltaica, mas somente no ano de 1956 que a produção industrial dessa tecnologia se iniciou [8].

A figura 8 apresentada pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) demonstra e comprova o crescimento exponencial da geração distribuída de 2012 até agosto de 2022, em amarelo é possível observar a Geração Centralizada, proveniente de usinas e em azul, a Geração Distribuída, provenientes das fontes fotovoltaicas, instaladas em residências, estabelecimentos e entre outros, que juntas já possuem um total de 18.654 MW instalados no País [9].

## Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022.

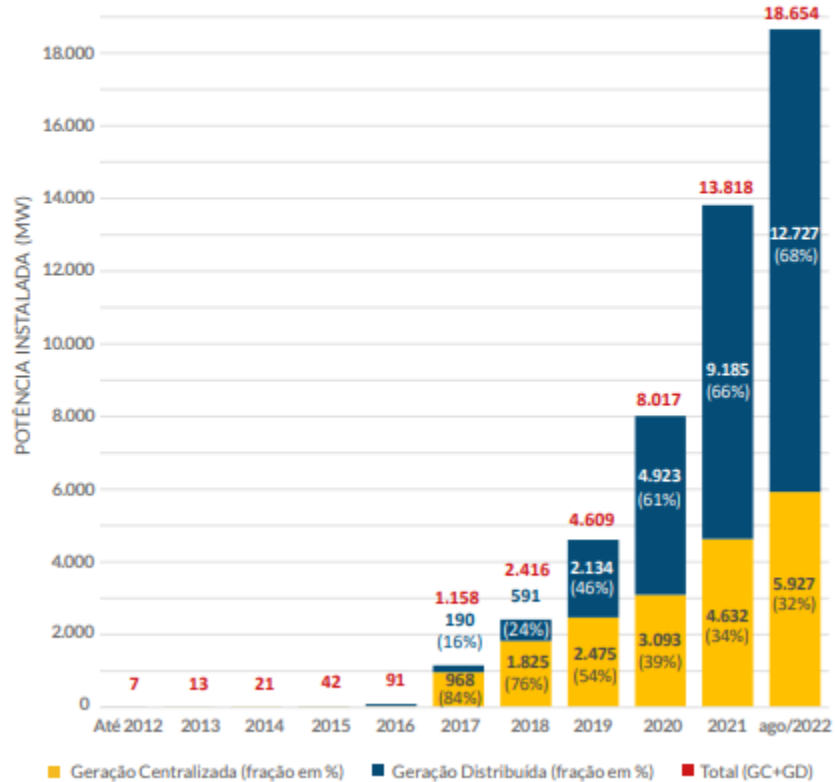


Figura 8: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: [9]

### 2.7.1. Sistemas fotovoltaicos

Um Sistema Fotovoltaico é composto por um ou mais módulos fotovoltaicos, baterias, inversores, equipamentos de proteção, controladores de carga, todo esse conjunto de equipamentos completam esse sistema. Os sistemas fotovoltaicos variam de acordo com suas aplicações, possuem em sua composição células solares que realizam a conversão da luz solar em energia, essas células possuem materiais semicondutores, através das camadas desse material é gerado um potencial elétrico, gerando corrente pelo circuito fechado, quando ele é exposto a alguma radiação solar [10].

Os sistemas fotovoltaicos possuem duas divisões: Sistema Integrados à rede (*ON-GRID* ou *GRID-TIE*), a energia excedente nesse tipo de sistema é retornada a rede e os Sistemas Isolados (*OFF-GRID*) os quais utilizam baterias para realizar o armazenamento da energia gerada [11].

Segundo o site NeoSolar, o sistema fotovoltaico é composto por quatro componentes principais e necessários para seu funcionamento, são eles [12]:

- Painéis Solares:

Componente principal para a realização de transformação da energia solar em eletricidade, sendo capaz também de transferir a energia captada para o sistema, um exemplo de sua instalação é demonstrado na Figura 9.

- Controladores:

Protegem o sistema contra sobrecargas na bateria, aumentando sua vida útil e evitando queima do sistema.

- Inversores:

Responsáveis por converter a corrente contínua, normalmente em 110 V ou 220 V, em corrente alternada, sendo capazes também de sincronizar os sistemas conectados com a rede elétrica.

- Baterias:

Esse componente é exclusivo dos Sistemas *ON-GRID*, realiza o armazenamento da energia elétrica produzida, para momentos em que não há incidência de luz solar.





Figura 9: Painéis Solares

Fonte: [13]

### 2.7.2. Benefícios da energia solar fotovoltaica

Segundo dados acumulados desde 2012 pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), apresentados na Figura 10, mais de 18,6 GW estão em operação, além disso, foi gerado mais de 559,6 mil novos empregos e foi retirado mais de 27,3 milhões de toneladas de gases de efeito estufa da atmosfera, dados esses que demonstram que essa tecnologia ajuda no crescimento econômico do país e na preservação do mesmo [9].

Foram recolhidos mais de 26,5 bilhões de impostos aos cofres públicos, segundo o site BLOXS, a partir da validação dessa nova taxa, o valor deve se acentuar, prevendo uma tributação gradativa, que no atual momento é isento de impostos [14].

#### Benefícios da Fonte Solar Fotovoltaica ao Brasil

Fonte: ABSOLAR, 2022.



Figura 10: Benefícios da Fonte Solar Fotovoltaica ao Brasil

Fonte: [9]



## 2.8 Placas fotovoltaicas

A principal tecnologia criada para realizar a captação de luz solar, são as placas fotovoltaicas, apresentadas na Figura 11, são compostas por equipamentos que em conjunto realizam a conversão de energia solar em energia elétrica, por meio das células fotovoltaicas. Desde 2012 essa tecnologia está no mercado, avançando a cada ano com o desenvolvimento de novos modelos, possui fácil instalação, pois são dimensionadas de acordo com o local de aplicação e o projeto, garantindo assim uma maior eficiência do sistema [15].

As placas fotovoltaicas é uma das tecnologias principais de captação de luz de solar, são instaladas em sistema *ON-GRID*, que é composto por um conjunto de equipamentos capazes de transformar a energia solar em energia elétrica, podendo retornar a mesma para a rede elétrica. Os painéis solares têm a função de converter a energia do solar em energia elétrica através das células fotovoltaicas presentes em sua composição. Essa tecnologia está presente no mercado desde 2012 e com o passar dos anos veio ganhando força. Esse sistema possui como vantagem a fácil instalação e dimensionamento do projeto, o que garante em uma eficiência maior em relação a sua capacidade de alimentação de todo consumo [15].



Figura 11: Painel Solar

Fonte: [16]

## 2.9 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são diferenciadas por seus tipos e caracterizações quanto ao material utilizado, sendo sua maior parte fabricada utilizando o silício. É considerada como a menor unidade de conversão de luz solar em eletricidade [2].

### 2.9.1. Efeito fotovoltaico

As células fotovoltaicas possuem em sua composição materiais semicondutores, neles ocorre o chamado efeito fotovoltaico, onde há presenças de bandas caracterizadas como valência e condução. As bandas de valência são conhecidas por possuir energia, onde os elétrons são permitidos, já as bandas de condução são vazias. O funcionamento das células fotovoltaicas, Figura 12, se baseia no princípio de que os fótons incidentes se colidirem com os átomos dos materiais semicondutores, realizam a movimentação dos elétrons [2].

O semicondutor que é mais utilizado na fabricação de placas fotovoltaicas é o silício. Possuem quatro elétrons que se ligam formando uma rede cristalina. Quando uma junção do tipo pn é exposta a fótons que possuem um maior *gap*, ocorre a chamada geração de pares elétron-lacuna, desse modo se as cargas serão aceleradas caso ocorra um campo elétrico diferente de zero, essa junção gera uma corrente elétrica, realizando assim uma diferença de potencial, chamado de Efeito Fotovoltaico, demonstrado na Figura 13 [8].

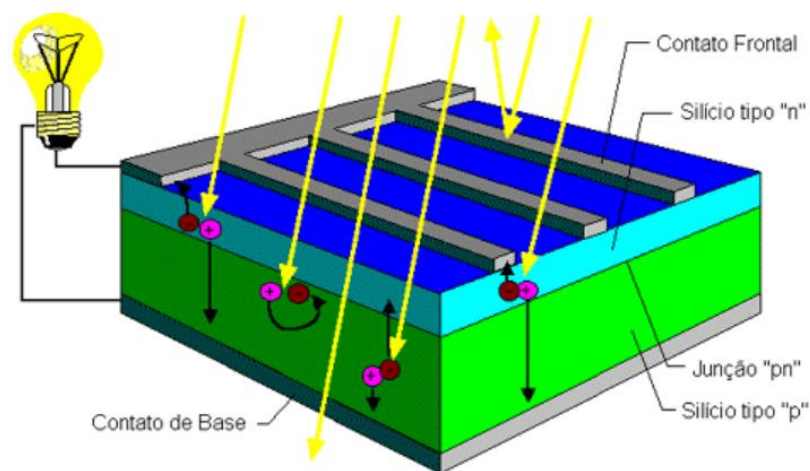


Figura 12: Célula Fotovoltaica

Fonte: [8]

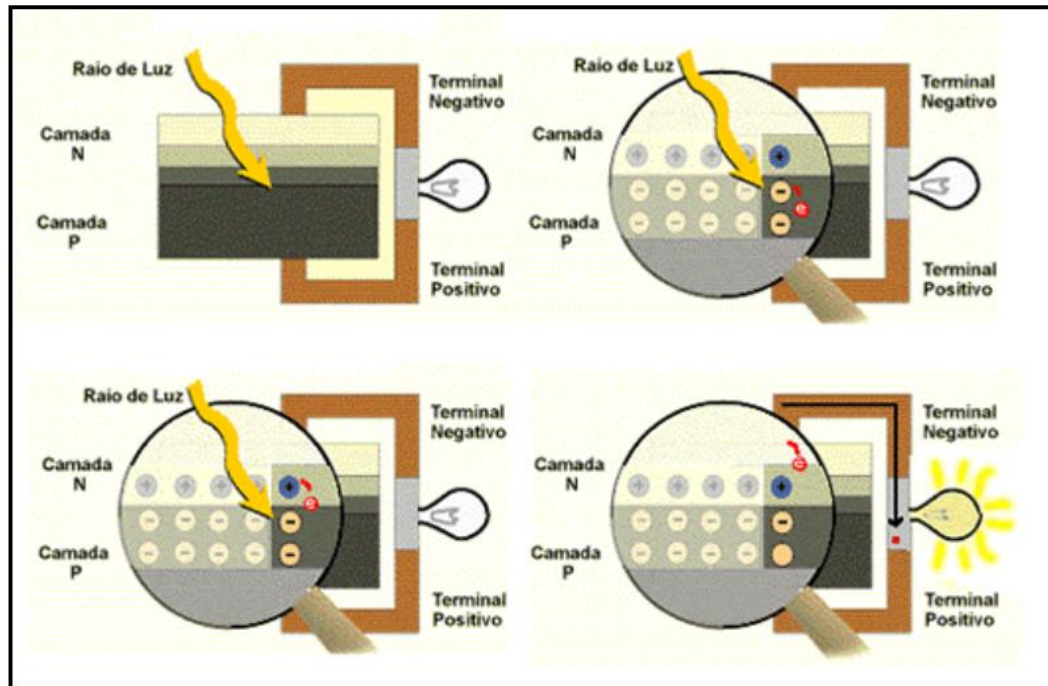


Figura 13: Efeito Fotovoltaico

Fonte: [8]

As células fotovoltaicas quando criadas rendiam cerca de 2%, algo bem baixo em comparação com as células atuais, que tem seu rendimento definido de acordo com sua variação e tipo de silício utilizado, Figura 14. As células mais utilizadas atualmente são as de silício monocristalinos, policristalinos e amorfo.[11]



Figura 14: Elemento Silício

Fonte: [17]

### 2.9.2. Silício monocristalino

O silício é um material semicondutor, sendo esse com alto grau de pureza, é obtido pelo método conhecido como Czochralski, resultando em um cilindro o qual é laminado em discos finos de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  [18].

O silício Monocristalino (mono-Si), Figura 15, possui um rendimento de 18%, custo elevado e sua vida útil pode variar de 20 à 40 anos. O ponto inicial de fabricação do silício é a extração do cristal de dióxido de silício, esse material passa por um processo de desoxidação em grandes fornos, sendo purificado e solidificado, nesse momento o silício atinge um grau de pureza de 98% a 99%, algo considerado razoável, em relação à eficiência energética. Após esse processo, ele é dopado com o material boro que é do tipo p, a fim de se obter um grau de pureza maior, obtendo-se aproximadamente 99,9999%, e então colocado em uma temperatura controlável, resultando em um grande cilindro de silício monocristalino [8].

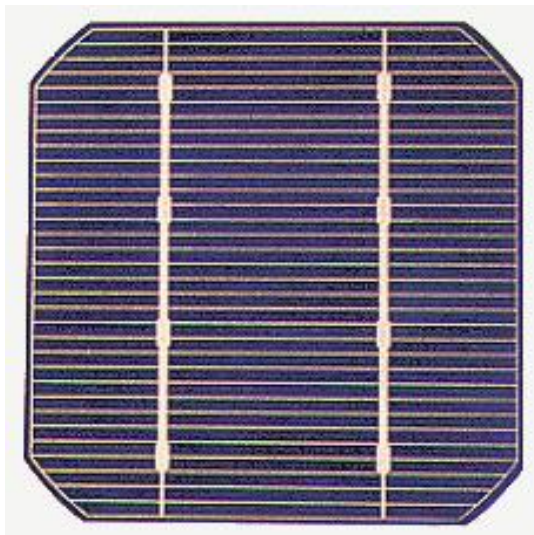


Figura 15: Célula de silício monocristalino

Fonte: [8]



### 2.9.3. Silício policristalino

As células de silício policristalinos, Figura 16, possuem um processo mais simples e menos rigoroso em comparação com o silício monocristalino, isso faz com que a célula seja mais barata. Em comparação, sua eficiência é reduzida. O silício Policristalino (poly-Si) possui um rendimento de 16%, menor custo comparado ao silício monocristalino e sua vida útil pode variar de 20 à 40 anos. O processo de pureza desse tipo de silício é similar ao do tipo monocristalino, possuindo assim diversos níveis de eficiência [8].

Após a formação dos blocos de silício policristalino, as células são confeccionadas por meio de fusão de algumas porções do material de silício puro, colocando assim em moldes, que após resfriados eles solidificam [21].

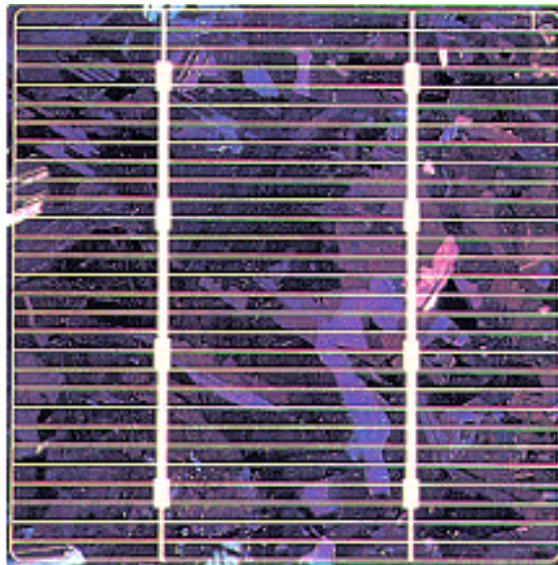


Figura 16: Célula de silício policristalino

Fonte: [8]

### 2.9.4. Silício amorfo

Esse tipo de célula se diferencia das outras por possui uma alta desordem em sua estrutura atômica. Tem se apresentado como uma forte tecnologia no mercado atual, pois apresenta uma absorção da radiação solar na faixa conhecida como visível. Possui um processo de fabricação mais simples e econômico, baixo

consumo de energia, suas células podem ser fabricadas em formatos maiores. Mas possui como principal desvantagem a baixa eficiência de conversão de energia e pela sua fácil degradação, reduzindo assim sua vida útil. O silício Amorfo (a-Si), Figura 17, possui um rendimento de 8%, menor custo comparado aos outros dois modelos e sua vida útil pode variar de 15 a 25 anos [8].

Em relação a absorção de radiação solar, o silício Amorfo é 40 vezes mais eficiente que o monocristalino, uma lâmina de 1  $\mu\text{m}$  é capaz de absorver cerca 90% da luz solar [18].



Figura 17: Silício Amorfo

Fonte: [8]

## 2.10 Tipos de módulos

As células fotovoltaicas unidas em conjunto formam os módulos, por possuírem baixa tensão e corrente de saída, essa junção pode ser realizada em série ou paralelo [8].

- Módulos em paralelos:

As correntes de cada módulo são somadas e contínuas e a tensão é a mesma da célula, por suas características básicas sua corrente máxima é a aproximadamente 3A e sua tensão 0,7V, demonstrado na Figura 18 [8].

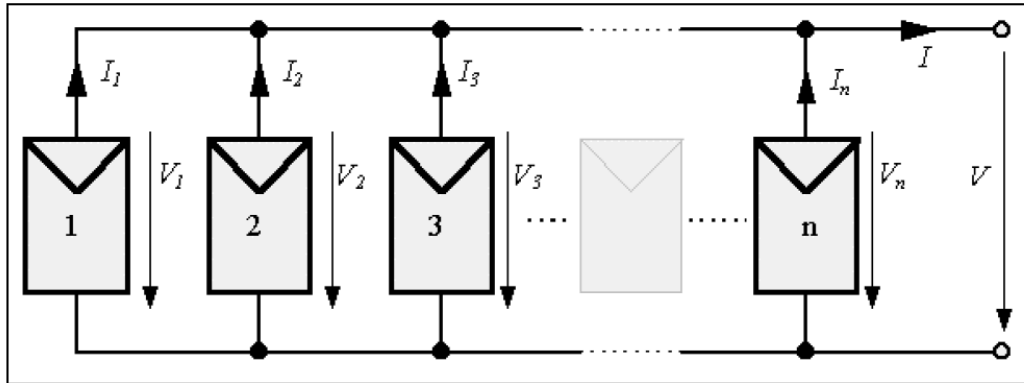


Figura 18: Modelo de Módulos ligados em Paralelo

Fonte: [8]

- Módulos em série:

Nesse modelo, Figura 19, as tensões são somadas, totalizando um valor de 12 V, possibilitando o carregamento das baterias que também trabalham nessa faixa de tensão. É o modelo mais comum de células fotovoltaicas [8].

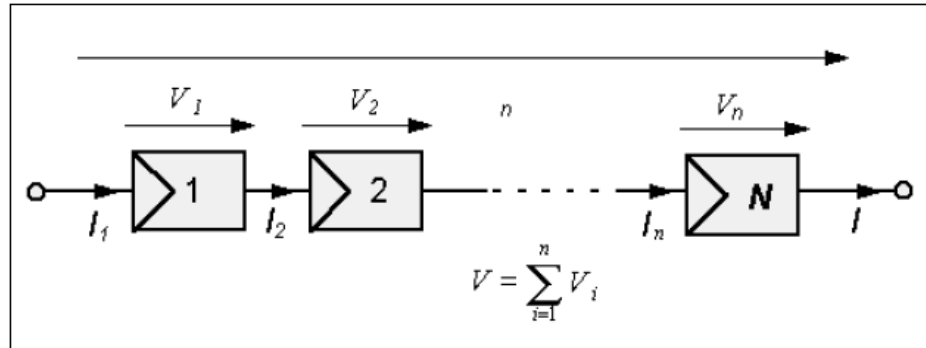


Figura 19: Modelo de Módulos ligados em Série

Fonte: [8]

- Painel Solar de Silício Monocristalino:

Utiliza uma tecnologia mais antiga, mas possui uma alta eficiência. São facilmente identificados por sua cor uniforme, Figura 20, representando o silício de forma mais pura e seus cantos de forma arredondada. São fabricados utilizando somente um cristal de silício ultrapuro, o qual é fatiado em diversas partes e após tratadas essa etapa são tratadas para se tornarem

células fotovoltaicas. Tamanhos padrões da célula: 10x10cm; 12,5x12,5cm e 15x15 cm [16].

Segundo NeoSolar, foi realizado uma pesquisa de preço no ano de 2021, que estabeleceu os valores médios das placas, variando de R\$599 à R\$1.559 [12].

No Quadro 1, é apresentado as Vantagens e Desvantagens dos Painéis de Silício Monocristalinos.

Quadro 1: Vantagens e Desvantagens dos Painéis Solares Monocristalinos

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Maior eficiência comparada aos outros modelos	Mais caros
Eficiência dos painéis: 15% e 22%	Resultam em lingotes cilíndricos, que são as partes cortadas dos quatro lados para fazer as lâminas, precisando ser reciclado
Ocupam menos espaços, por ter uma eficiência maior, necessita de menos placas instalas para gerar a mesma quantidade de energia dos outros modelos	
Vida útil de 30 anos	
Garantia de 25 anos	
Funcionam melhor em condições de pouca luz	

Fonte: Adaptado de [16]





Figura 20: Painel Solar de Silício Monocristalino

Fonte: [16]

- Painel Solar de Silício Policristalino:

Foram introduzidos no mercado no ano de 1981, os cristais nesse modelo, Figura 21, são fundidos em um bloco, evitando a formação de múltiplos cristais. A principal diferença entre o monocristalino é o método aplicado na fundição dos cristais. Tamanhos padrões da célula: 10x10cm; 12,5x12,5cm e 15x15 cm [16].

Segundo NeoSolar, foi realizado uma pesquisa de preço no ano de 2021, que estabeleceu os valores médios das placas, variando de R\$99 à R\$439 [12].

No Quadro 2, é apresentado as Vantagens e Desvantagens dos Painéis de Silício Policristalinos.

Quadro 2: Vantagens e Desvantagens dos Painéis Solares Policristalinos

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Quantidade de resíduos gerados durante o processo de corte é menor que o modelo monocristalino	Eficiência de 14 e 20% (Comparado ao modelo monocristalino)
Tendem a ser mais baratos que o modelo monocristalino	Menos W/h por metro quadrado
Vida útil de 30 anos	
Garantia de 25 anos	

Fonte: Adaptado de [16]



Figura 21: Painel Solar de Silício Policristalino

Fonte: [16]

- Painel solar de silício amorfo (a-Si):

A tecnologia presente nesse modelo, faz com que a produção de energia elétrica seja baixa, por conta disso, inicialmente ela só estava sendo utilizada em calculadoras.

Atualmente, já é possível a aplicação em larga escala, utilizando a técnica conhecida como empilhamento, que representa a junção de diversas camadas de silício amorfo, Figura 22, resultando em uma maior eficiência, aproximadamente de 6% a 9% [16].



Figura 22: Painel Solar de Silício Amorfo

Fonte: [16]

No Quadro 3, é apresentado as Vantagens e Desvantagens dos Painéis de Silício Amorfo.

Quadro 3: Vantagens e Desvantagens dos Painéis Solares de Silício Amorfo

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Utiliza uma técnica chamada de "empilhamento", que são várias camadas de células solares de silício amorfo combinadas	Baixa eficiência de conversão de energia
Apresenta um custo menor de fabricação	Degradação no início do seu uso, resultando em uma vida útil e eficácias reduzidas.
	Eficiência de 6 a 9%

Fonte: Adaptado de [16]

- Painel solar de telureto de cádmio (CdTe):

É a única tecnologia que superou a do silício cristalino, em relação a custo e eficiência, tem como faixa de 9% a 16%, sua tecnologia é baseada em um filme-fino [16].

- Painéis solares de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS /CIGS):

Apresenta um maior potencial de eficiência, comparado aos outros modelos de tecnologia de filme-fino. Operam na faixa de 10% a 12% sendo encontrado também a 13% de eficiência [16].

- Células fotovoltaicas orgânicas (CFO):

São células solares que utilizam uma eletrônica orgânica, é considerada uma tecnologia flexível, por fazer a utilização de polímeros orgânicos, possuem baixo custo, são confeccionadas utilizando a impressão, sua produção ainda não é encontrada em larga escala [16].

- Painel solar híbrido – HJT:

Utiliza de uma nova tecnologia, conhecida como heterojunção, sua eficiência é de 21% a 24%. Produz mais energia por metro quadrado, ótimo funcionamento quando exposto a altas temperaturas. Mas ainda não é encontrada para fornecimento no mercado atual [16].

## **2.11 Tipos de sistema fotovoltaicos**

### **2.11.1. Sistemas fotovoltaicos interligados a rede (*ON-GRID*)**

O Sistema Fotovoltaico *ON-GRID*, Figura 23, trabalha conectado à rede elétrica, realiza a conversão da energia solar em energia elétrica, enviando o potencial gerado para a rede de distribuição, conseqüentemente sendo dependente da mesma para funcionar. Para proteger o sistema, quando ocorre alguma queda,

ele é desligado sem sistema de *backup*, isso acontece devido ao fato da rede não poder ter alguma fonte de energia em caso de manutenções. [22]

O funcionamento do sistema *ON-GRID*, consiste na redução de energia elétrica que é fornecida pela rede, através do sistema de compensação, que é baseado na normativa fornecida pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), nº (687/2015), que diz que toda energia gerada em excesso, retorna para a rede da concessionária, como uma forma de empréstimo, com isso, a unidade geradora dessa energia, obtém créditos em energia ativa, podendo os mesmos serem utilizados para abater créditos no período de até 60 meses [20].

Os Sistemas *ON-GRID* são classificados como:

- Microgeração: Potência instalada menor ou igual a 75 KW;
- Minigeração: Potência instalada superior a 75 KW e menor ou igual a 3 MW, em caso de fontes hídricas, ou menor ou igual à 5 MW [20];

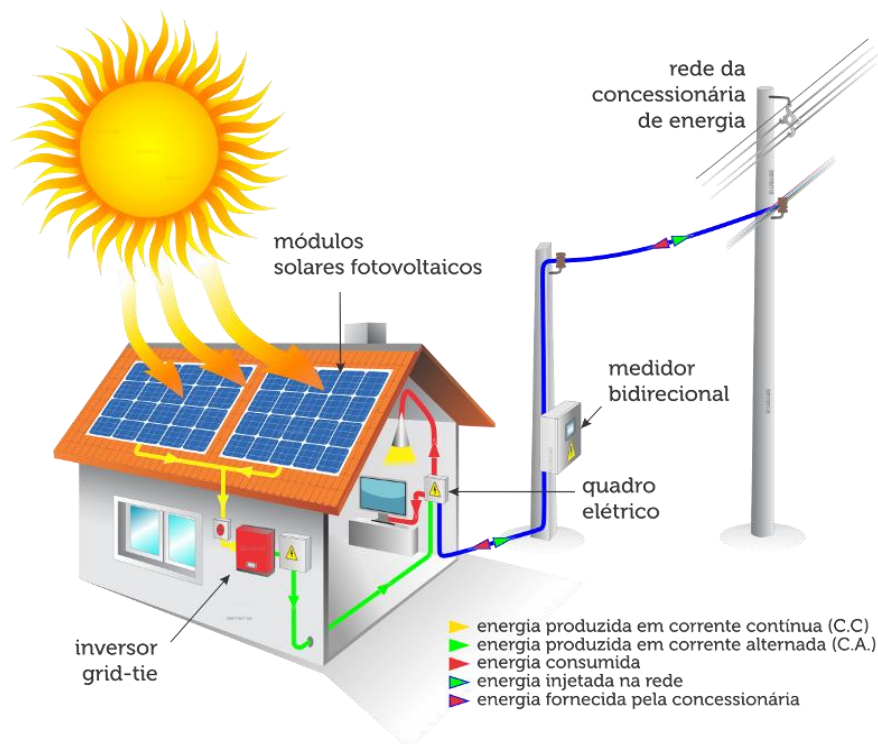


Figura 23: Instalação de Placas Solares em sistema *ON-GRID*

Fonte: [20]

### 2.11.2 Sistemas fotovoltaicos autônomos (*OFF-GRID*)

O Sistema *OFF-GRID*, Figura 24, depende exclusivamente da radiação solar para realizar seu funcionamento. Possui banco de baterias para realizar o armazenamento da energia produzida, quando não incidência de luz solar. Toda energia produzida será para autoconsumo [22].

As instalações do sistema *OFF-GRID* produzem energia durante o dia, ao mesmo tempo que é consumida, o excedente produzido é armazenado em baterias e utilizado no período noturno. Esse sistema deve ser projetado de acordo com as necessidades do usuário, otimizando assim a instalação fotovoltaica, a fim de selecionar os dispositivos específicos para o consumo calculado. A energia gerada é fornecida diretamente aos aparelhos da residência [23].

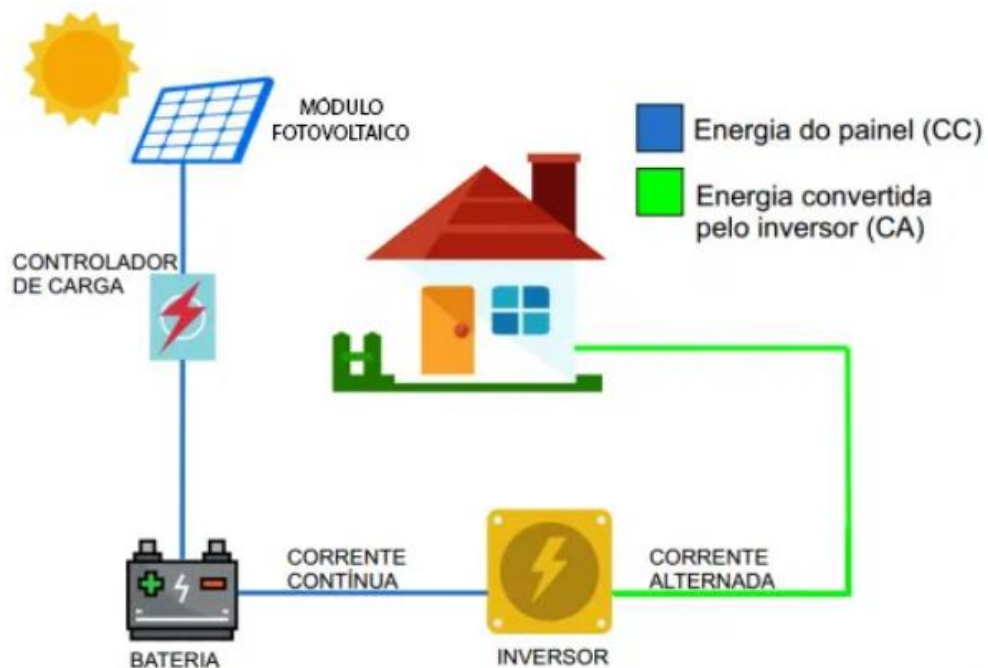


Figura 24: Instalação de Placas Solares em sistema *OFF-GRID*

Fonte: [24]

### 3 METODOLOGIA

O trabalho em questão é uma análise de viabilidade de implementação do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica (SGEF) de forma renovável a ser instalado em uma residência unifamiliar localizada na cidade de Resende, interior do Rio de Janeiro. Assim sendo, este Capítulo será focado para a descrição e detalhamento dos procedimentos, cálculos e metodologia utilizada para verificação de viabilidade de implementação do SGEF em uma residência unifamiliar.

#### 3.1 Apresentação do local de estudo

O trabalho em questão é realizado com base em uma residência unifamiliar localizada no CEP 27525-390, Rua F, número 93, no Bairro Jardim Alegria, na cidade de Resende – Rio de Janeiro, Figura 25. Para sermos mais precisos quanto a localização geográfica exata, a casa em questão tem as seguintes coordenadas geográficas latitude  $22^{\circ}28'29.1''S$  e longitude  $44^{\circ}29'43.6''W$ .

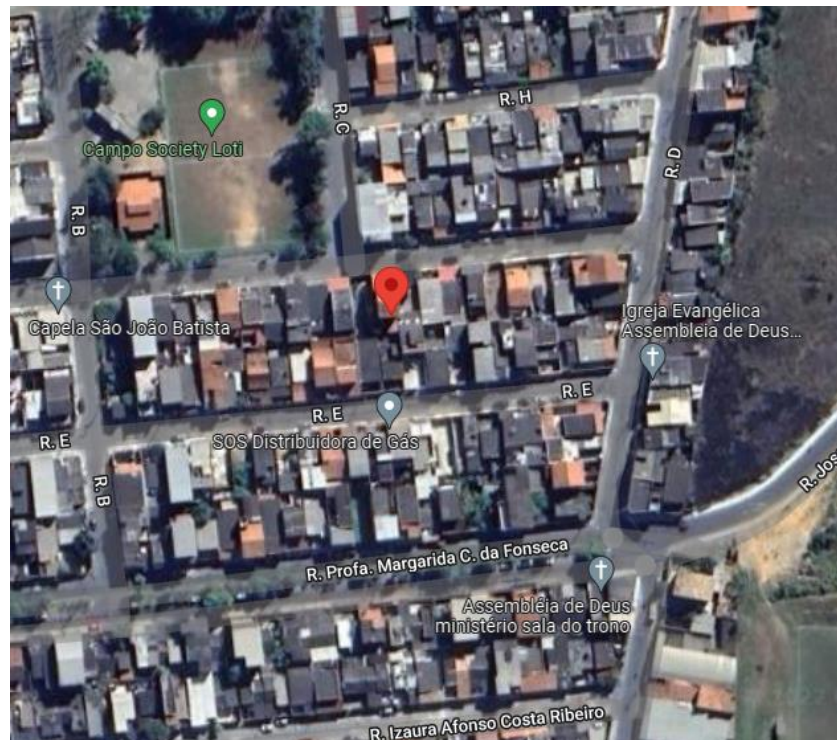


Figura 25 – Localização da Moradia em Estudo, na cidade de Resende-RJ

Fonte: [25]



Atualmente a residência em questão, Figura 26, acomoda uma família de quatro pessoas, possui dois locais com possibilidade de instalação do sistema SGEF, uma parte mais baixa na parte frontal e uma cobertura, pelo fato da parte mais baixa não possuir uma área maior e por parte do ano a exposição e direção do sol ficarem comprometidas, devido aos andares erguidos, o estudo em questão foi realizado utilizando o telhado da cobertura, Figura 27, sendo uma estrutura adequada, por receber a luz solar sem problemas, a região é plana e não possui grandes estruturas ao redor que poderiam vir a comprometer a projeção do sol no local escolhido.



Figura 26 – Imagem da Residência em Estudo

Assim sendo o local adequado para instalação do sistema SGEF na residência, já que o único empecilho que impede uma captação constante do sol no melhor ângulo possível é a própria movimentação do sol que pode ser combatida com a regulagem correta do posicionamento do painel de captação no momento de instalação do sistema como um todo.





Figura 27 – Telhado da cobertura

### 3.2 Dados de incidência solar da região

De acordo com nossas necessidades no estudo de viabilidade, um dos principais pontos a serem tratados de perto com uma precisão e alta confiabilidade, é quanto a incidência solar na região, pois nosso sistema tem a necessidade de um combustível para geração da energia elétrica, para utilizar da radiação solar proveniente do sol, é necessário conhecer quais são os dados de incidência dessa radiação no local, o que pode ser muito difícil de se conseguir prever já que se trata de um aspecto da natureza, assim sendo, pode não possuir um padrão linear como em outros aspectos da natureza.

Quando fala-se de coletar dados de uma das maiores forças da natureza, há um problema, pois cada mínima variação pode afetar a receptividade, é mais que concreto que obtém-se uma resposta diferente para cada região do planeta devido a sua forma irregular que nos demonstra um formato oval e inclinado em relação ao sol. Como nosso país tem proporções continentais, por consequência temos uma variação grande ao avaliar cada região, já que a geografia da região influencia muito, assim como os fatores relacionados ao tempo, uma região com muitas montanhas e altas concentrações de nuvens não são boas condições para

implementação desse modelo, pois limita muito as capacidades do sistema de operar com um potencial elevado.

O parâmetro mais básico para geração da energia elétrica pelo processo de conversão da radiação solar para eletricidade é o período que temos a incidência ideal para a conversão ocorrer, utilizando-se da capacidade máxima de absorção da radiação pela placa. Nesse ponto chegamos a um dos conceitos utilizados para realizar esse estudo de caso, o conceito de Horas de Sol Pleno (HSP).

As Horas de Sol Pleno podem ser interpretadas da seguinte maneira, a quantidade de horas por dia que temos um índice de radiação solar constante que se manteve igual a  $1000\text{W/m}^2$  [26].

Quanto ao método de obtenção desses dados que nos indicariam os valores precisos da HSP, teriam que ser realizados por um período longo e constante, além de ter uma capacidade de projeção equivalente que nos trouxesse uma visão do que pode ocorrer em um futuro próximo, com base nos valores passados, como dito anteriormente a precisão é crucial nesse ponto, então as medições devem ser realizadas com aparelhos muito precisos e por períodos longos e constantes.

É necessário o uso de alguns equipamentos para realização das medições, mas para a captação das informações, foi utilizado o auxílio do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), que realiza pesquisas constantes sobre o aspecto de energia solar desenvolvido nesse trabalho, o instituto em questão também nos prove o Atlas Solarimétricos do Brasil, que se trata de uma publicação que condensa as informações sobre incidências solar dentre outras informações do Brasil, por ser uma instituição de renome nos basearemos em sua medições e informações.

Acessando a plataforma online do CRESESB é possível extrair as informações que necessitamos de qualquer região, assim conseguimos extrair as informações de HSP de Resende com precisão e confiabilidade.

### 3.3 Configuração do sistema

Quanto as possibilidades de configuração do SGEF dispomos dos modelos *OFF-GRID* e *ON-GRID*.

O modelo *OFF-GRID* se trata do modelo de sistema que opera desconectado da rede de distribuição de energia, assim sendo ele tem algumas limitações bem aparentes, como o fato do mesmo depender de um banco de baterias para poder armazenar energia elétrica, para que possa ser utilizada posteriormente, um exemplo prático pode ser verificado quando é armazenado a energia gerada durante o dia para que possa ser utilizada a noite, esse modelo nos acarreta em duas preocupações, primeiro a sua necessidade de possuir um banco de baterias trará um aumento de gasto de instalação e segundo a manutenção constante é muito alta em comparação ao modelo a ser apresentado a seguir.

O modelo *ON-GRID* se trata de um modelo de sistema que opera conectado à rede de distribuição de energia, sendo assim, ele não depende do banco de baterias como o modelo anterior, já que atua em conjunto com o fornecimento proveniente das concessionárias de energia do local, ou seja, durante o dia o sistema pode gerar energia mais que suficiente para suprir as necessidades da residência e durante a noite a maior parte do fornecimento virá da concessionária em questão, trazendo um balanço quanto aos valores pagos as empresas fornecedoras de energia, já que o fato do sistema SGEF estar conectado à rede faz com que seja injetada na mesma o excedente de geração assim auxiliando na diminuição dos gastos.

Tendo apresentado os modelos, optamos pelo modelo *ON-GRID* por dois fatores, o primeiro devido a localização da residência ser em uma cidade de grande porte e não em um local remoto, a necessidade de termos um sistema *OFF-GRID* traria gastos muito elevados e uma maior manutenção, o segundo com a capacidade de injeção de energia na rede temos um abate de valor na conta de luz que somado ao investimento de implementação mais baixo pode nos trazer um retorno mais rápido e eficaz.

A próxima etapa será quanto ao levantamento das necessidades de demanda de energia, esse ponto é bem importante por ser onde nos basearemos para podermos dimensionar todo o sistema, assim podemos dimensionar as placas fotovoltaicas necessárias, a quantidade de módulos, o inversor de carga, os condutores e dispositivos de segurança.

### **3.4 Aspectos dimensionais**

O tópico em questão terá foco em apresentar com mais detalhes a parte de cálculos e modelagem do sistema a ser dimensionado para suprir as necessidades da moradia apresentada no estudo de caso. Com auxílio do Manual para Sistemas Fotovoltaicos disponibilizado pelo CEPEL-CRESESB será realizada os cálculos [26].

#### **3.4.1 Demanda de energia**

Quando estamos dimensionando as necessidades energéticas de uma unidade que virá a ser ligada na rede de distribuição de energia realizamos a soma do consumo energético estimado de todos os equipamentos que serão ligados a rede, essa é uma forma de saber a demanda de energia.

Outra forma é mais empírica, uma vez que a unidade está ligada e consumindo sabemos exatamente as necessidades energéticas e com um período grande o suficiente, saberemos exatamente como se comporta conforme o passar do tempo. Como temos variações de estações durante o ano o consumo também é alterado, já que por exemplo durante o verão, o calor maior e é comum que os chuveiros sejam alterados para uma posição mais refrescante que consome menos energia, comparado à sua posição mais potente, que trás um gasto maior, normalmente utilizada durante o inverno.

Como a residência em questão já possui um histórico de consumo de energia, utilizaremos a conta de luz como base para determinação da demanda durante o ano, assim temos uma precisão maior nos cálculos, já que a tendência é que o consumo seja o mesmo no ano posterior, abordaremos com maior profundidade nos

resultados quanto as variações de uma possível implementação de tarifa de distribuição.

### 3.4.2 Dimensionamento das placas fotovoltaicas

O primeiro passo que daremos é quanto o dimensionamento do sistema, determinarmos o potencial de geração máxima da placa que queremos trazer, para isso precisamos levar em conta os valores de irradiação solar que teremos no local, sabendo qual a HSP que termos na placa diariamente, a sua taxa desempenho já que nenhum sistema no mundo atua sem perdas e tem um desempenho de 100%, o principal problema de desempenho nesse caso é quanto a dispersão de energia em forma de calor pela placa, e temos também a demanda da residência. Através da equação 1 é possível inferir e extrair a potência de pico de geração da placa.

$$PPGP = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSPMA} \quad (1)$$

Onde:

PPGP (Wp) – Potência de pico de geração da placa;

E (W/h) – Consumo diário médio anual de energia elétrica da edificação;

TD (%) – Taxa de desempenho;

HSPMA (h) – Média diária anual de HSP que é projetada na placa.

### 3.4.3 Dimensionamento da quantidade placas fotovoltaicas

Tendo o valor de PPGP, que nada mais é que a necessidade de potencial de energia que precisamos suprir por dia, selecionaremos um modelo de placa para ser utilizado no estudo de caso e com base em sua tabela de dados de características podemos retirar a informação de potência de pico da placa (PPP) e calcular o

número de módulos necessários para suprir a demanda da residência. Como podemos ver na equação 2, determinamos o número de módulos dividindo a potência PPGP pela PPP.

$$NP = \frac{PPGP}{PPP} \quad (2)$$

Onde:

NP (unidade) – Números de placas;

PPGP (Wp) – Potência de pico de geração da placa;

PPP (Wp) – Potência de pico da placa.

#### **3.4.4 Dimensionamento do inversor de carga**

O segundo ponto mais importante do sistema se trata do inversor de carga, pois a placa transforma a radiação solar em energia elétrica com corrente contínua portando é necessário transformamos em corrente alternada para que possamos ligar o sistema *ON-GRID* e utilizarmos em nossos equipamentos eletroeletrônicos usuais. Com as diversas variações que podem ocorrer durante o ano temos que dimensionar de forma que o sistema opere de forma equilibrada e que junto as proteções que viram a ser dimensionadas sejam capazes de se balancear e evitar que tenhamos problemas.

Assim precisamos determinar alguns fatores que nos ajudaram a escolher um inversor adequado a nossa situação, sendo eles o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI), a faixa de operação do inversor e suas tensões, sua capacidade de corrente contínua, o dimensionamento da fiação elétrica e o dispositivo de segurança que atuará em conjunto com o sistema.

O FDI é um fator que demonstra a relação entre a Potência de pico de geração da placa (PPGP) e potência nominal em corrente alternada do inversor (PNca), dessa forma temos um dado de que para o FDI é ideal que seu limite inferior fique entre 0,75 e 0,85 e limite superior de 1,05 para estarem bem dimensionado. Dado isso temos a equação 3.

$$FDI = \frac{PNca}{PPGP} \quad (3)$$

Onde:

FDI (adimensional) – Fator de dimensionamento do inversor;

PNca (W) – Potência nominal em corrente alternada do inversor;

PPGP (Wp) – Potência de pico de geração da placa;

Faixa de operação do inversor e suas tensões – A fim de termos condições de operação do sistema, somamos as tensões proveniente das nossas placas de forma que estejam associadas em série para sabermos a real necessidade de tensão de entrada do inversor. A equações 4 nos auxiliaram a descobrir o número máximo de módulos em série que podemos utilizar.

$$N^{\circ} \text{ módulo\_série} * Voc < Vimáx \quad (4)$$

Onde:

Vimáx (V) – Máxima tensão c.c admitida pela entrada do inversor de carga;

VocTmín (V) – Tensão em circuito aberto (Voc) de um módulo FV em menores temperaturas de operação prevista.

Dispositivo de segurança – O dimensionamento do dispositivo de segurança é o que trás para o SGEF a segurança de que os equipamentos não iram sofrer danos desnecessários devidos a certas variações que podem vir a ocorrer devido a alguma falha. Para componentes instalados entre as placas e o inversor usualmente é utilizado do fator multiplicativo de 1,25 por segurança, já que não é aceitável que o sistema seja desabilitado por um pico único um pouco acima do dimensionado.

### **3.5 Análise financeira de viabilidade**

Os indicadores que existem para análise de viabilidade financeira são diversos, de acordo com cada trabalho ou estudo a análise é possível através de uma utilização de comprovação diferente, a comprovação do estudo em questão será demonstrada através do método de análise de *Payback* Descontado.

Enquanto o *Payback* simples demonstra apenas a forma o período de tempo que é necessário para que se obtenha o retorno do investimento com base no valor investido inicialmente e as receitas obtidas em cima de um período de tempo pré-fixado, o modelo de *Payback* Descontado leva em consideração a taxa de juros, assim é encontrado com uma precisão bem mais coerente com a possível realidade futura.



## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesse Capítulo serão apresentadas as etapas de cálculos e dimensionamentos dos componentes do SGEF com base nas condições e métodos demonstrados no Capítulo 3. Os parâmetros e levantamentos serão exemplificados e detalhados de acordo com os dados extraídos de cada fonte, como o histórico de demanda e dados de irradiação solar do local de estudo, posteriormente serão analisados e com base nessas informações será feito os dimensionamentos dos equipamentos a serem utilizados. Com os valores de custo levantados será feita a análise financeira de implementação.

### 4.1 Dados de irradiação solar

Os dados de irradiação solar utilizados como base desse estudo foram retirados do CRESESB que disponibiliza todas as informações em seu site, os dados provenientes do CRESESB são captados pelas estações de monitoramento que a instituição possui pelo país todo, demonstrando em formato de tabelas as médias mensais de irradiação solar.

A Tabela 4 demonstra dados referentes a cidade de estudo em questão, obtém-se a mesma inserindo as coordenadas geográficas da residência.

Tabela 1 – Irradiação solar Resende-RJ

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,39	<b>5,66</b>	4,78	4,32	3,59	<b>3,37</b>	3,43	4,37	4,49	4,82	4,87	5,51	<b>4,55</b>	<b>2,29</b>
Ângulo igual a latitude	22° N	4,91	<b>5,41</b>	4,91	4,86	4,38	4,31	<b>4,29</b>	5,13	4,76	4,71	4,5	4,94	<b>4,76</b>	<b>1,13</b>
Maior média anual	21° N	4,94	<b>5,44</b>	4,91	4,84	4,35	4,28	<b>4,26</b>	5,11	4,76	4,72	4,53	4,98	<b>4,76</b>	<b>1,18</b>
Maior mínimo mensal	26° N	4,77	<b>5,31</b>	4,88	4,9	4,47	4,43	<b>4,39</b>	5,21	4,76	4,64	4,39	4,8	<b>4,74</b>	<b>0,92</b>

Fonte: [28]

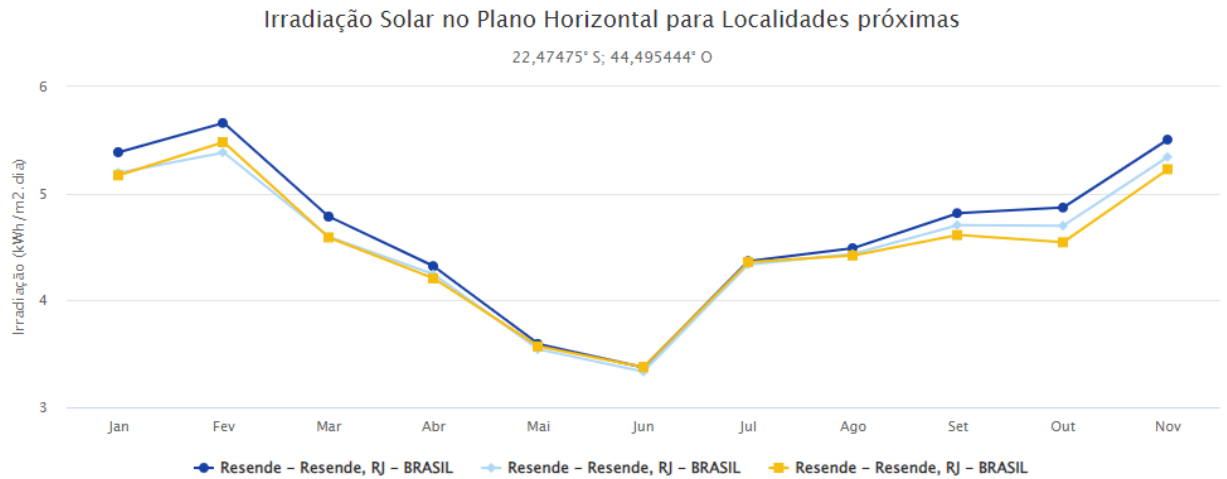


Gráfico 1 – Dados Irradiação Solar – Resende-RJ

Fonte: [28]

A fim de comparar a capacidade da região e trazer uma forma de averiguar as informações apresentadas sobre a cidade de Resende, Gráfico 1, foi extraído também os dados de cidades próximas. Tendo a cidade de Barra Mansa, Gráfico 2, localizada a aproximadamente 40 Km de distância de Resende com coordenadas de base suas coordenadas geográficas são: Latitude 22°32'25" Sul e Longitude 44°10'35" Oeste, e a cidade de Volta Redonda, Gráfico 3, localizada a aproximadamente 50 Km de Resende com coordenadas de base suas coordenadas geográficas são Latitude: 22° 31' 31" Sul e Longitude: 44° 6' 14" Oeste, como exemplos já que são cidades do Vale do Paraíba do lado fluminense podem ser utilizadas como base de comparação de dados.

Na tabela 5, é apresentado a Irradiação Solar da Cidade de Barra Mansa.

Tabela 2 – Irradiação solar Barra Mansa-RJ

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,63	<b>5,95</b>	4,9	4,35	3,6	<b>3,39</b>	3,43	4,35	4,56	4,96	5,01	5,7	<b>4,65</b>	<b>2,56</b>
Ângulo igual a latitude	23° N	5,09	<b>5,66</b>	5,03	4,9	4,41	4,37	<b>4,32</b>	5,13	4,84	4,84	4,6	5,07	<b>4,86</b>	<b>1,35</b>
Maior média anual	20° N	5,19	<b>5,74</b>	5,05	4,86	4,33	4,27	<b>4,23</b>	5,06	4,84	4,89	4,68	5,18	<b>4,86</b>	<b>1,51</b>
Maior mínimo mensal	28° N	4,9	<b>5,52</b>	4,98	4,95	4,52	4,52	<b>4,44</b>	5,22	4,83	4,74	4,45	4,87	<b>4,83</b>	<b>1,08</b>

Fonte: [28]

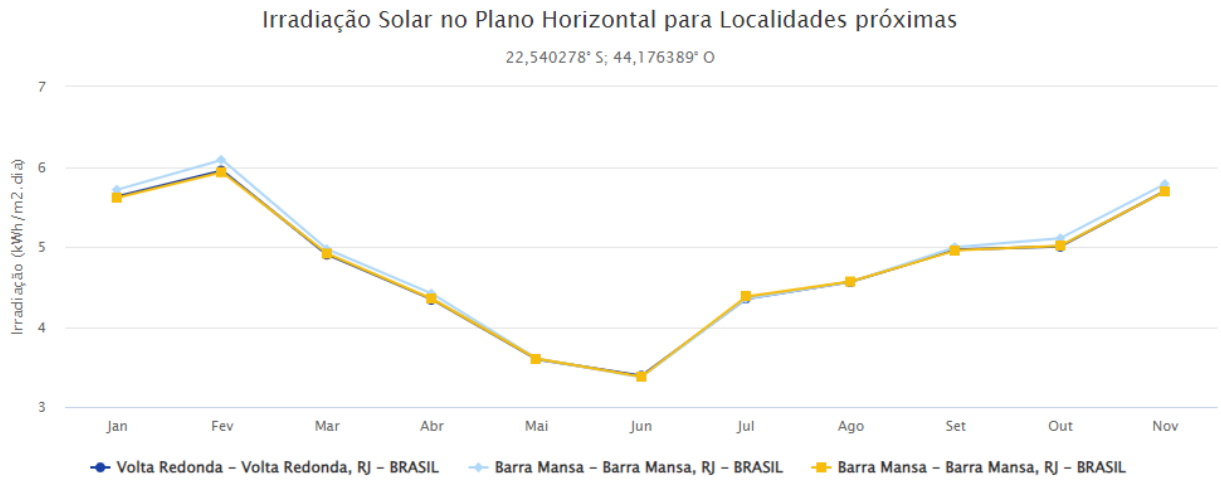


Gráfico 2 – Dados Irradiação Solar – Barra Mansa-RJ

Fonte: [28]

Na tabela 6, é apresentado a Irradiação Solar da Cidade de Volta Redonda.

Tabela 3 – Irradiação solar Volta Redonda-RJ

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,63	<b>5,95</b>	4,9	4,35	3,6	<b>3,39</b>	3,43	4,35	4,56	4,96	5,01	5,7	<b>4,65</b>	<b>2,56</b>
Ângulo igual a latitude	23° N	5,08	<b>5,66</b>	5,03	4,9	4,41	4,37	<b>4,32</b>	5,13	4,84	4,84	4,6	5,07	<b>4,86</b>	<b>1,35</b>
Maior média anual	20° N	5,19	<b>5,74</b>	5,05	4,86	4,33	4,27	<b>4,23</b>	5,06	4,84	4,88	4,68	5,18	<b>4,86</b>	<b>1,51</b>
Maior mínimo mensal	28° N	4,9	<b>5,52</b>	4,98	4,95	4,52	4,52	<b>4,44</b>	5,22	4,83	4,74	4,45	4,87	<b>4,83</b>	<b>1,08</b>

Fonte: [28]

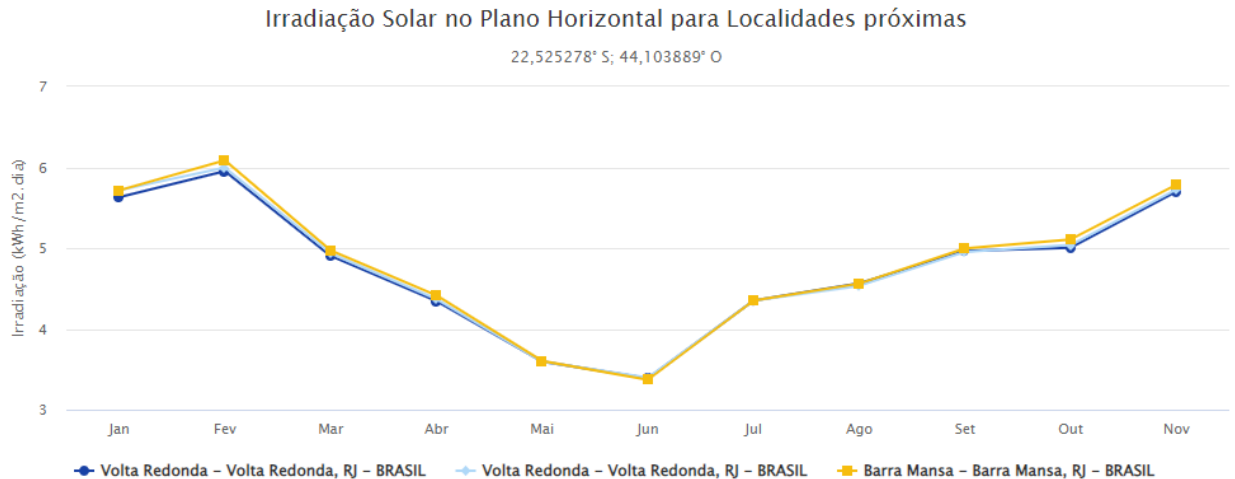


Gráfico 3 – Dados Irradiação Solar – Volta Redonda-RJ

Fonte: [28]

Possuindo todos os dados extraídos da plataforma é possível compará-los, pois o modelo de extração de informação prove todos os valores de irradiação solar em cada cidade. É possível observar que ao puxar os dados provenientes de Barra Mansa e Volta Redonda existe um cruzamento de informações, onde as estações de medição tem um compartilhamento dessa informação a fim de triangular os dados obtidos e determinar o índice HSP, assim quando é observado Barra Mansa duas estações estão localizadas na cidade e em conjunto é utilizada uma estação de Volta Redonda, a mesma situação ocorre ao observar Volta Redonda tendo duas estações na cidade operando com auxílio de uma terceira situada em Barra Mansa.

Comparando os resultados obtidos pelas estações de monitoramento é notável a estabilidade de variações médias, pois as cidades possuem uma capacidade muito próxima de irradiação solar, que demonstra sua veracidade de informação.

Focando na tabela 4, que representa a localidade da moradia em estudo, chama atenção a maior capacidade apresentada durante o ano ser no mês de fevereiro com 5,66 kWh/m<sup>2</sup> dia a uma inclinação de 0°, porém com uma média anual mais baixa que as demais inclinações tendo 4,55 kWh/m<sup>2</sup> dia. Como é buscado a maior estabilidade durante o ano, atingindo a maior média anual a angulação de 22° de inclinação é a mais aceitável, possuindo uma média anual de 4,76 kWh/m<sup>2</sup> dia, e com pico máximo de irradiação no mês de fevereiro com 5,41 kWh/m<sup>2</sup> dia e com pico mínimo de irradiação no mês de julho com 4,29 kWh/m<sup>2</sup> dia. Provando assim que a região em questão é muito boa e estável quanto às variações de irradiação solar.

## **4.2 Escolha da configuração do sistema**

O SGEF será instalado no telhado da cobertura da moradia, por ser o local com maior tamanho e disponibilidade, tendo 6 metros de largura e 8 metros de comprimento, totalizando uma área livre de 48 m<sup>2</sup> onde os módulos podem ser montados sem maiores problemas, pois não existem edificações ao redor que poderiam comprometer a capacidade dos módulos de receberem os raios solares e nem possuir vegetação densa de grande porte envolta que também poderia acabar causando o mesmo problema.

Pela moradia já estar conectada à rede de distribuição de energia e afim de evita um aumento considerável no orçamento de investimento será optado o modelo de *ON-GRID*, pois como apresentado anteriormente, o mesmo não necessita de um banco de baterias para armazenar a energia gerada e uma manutenção mais constante que acarretaria um certo desconforto desnecessário do usuário.

## **4.3 Aspectos Dimensionais**

### **4.3.1 Demanda de Energia**

A residência em questão atualmente tem sua demanda energética suprida pela fornecedora local de Resende, a Ampla Energia e Serviços S.A. através da marca ENEL. Para realização do estudo foi levantado os dados do consumo de energia do último ano da moradia, de novembro de 2021 até outubro de 2022, utilizando as informações provenientes das contas de energia da ENEL, conseguimos traçar um perfil de consumo da moradia. O gráfico 4 demonstra a o histórico de demanda de energia.

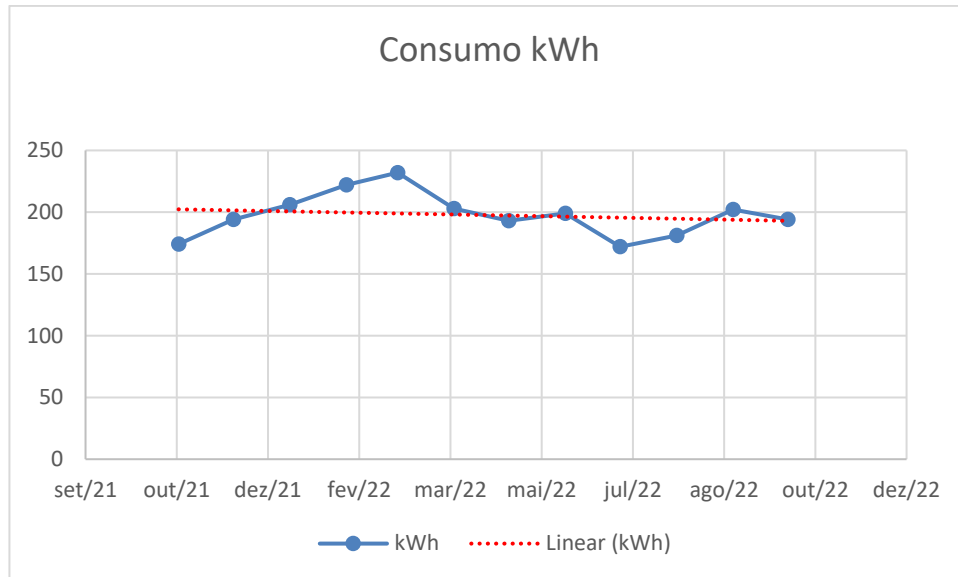


Gráfico 4 – Consumo de Energia

Através de uma análise do gráfico 4 observa-se que a demanda de energia no último ano, tendo sua menor demanda em novembro de 2021 com 174 kWh e sua maior demanda em março de 2022 com 232 kWh consumidos. Apesar do local de estudo abrigar uma família de quatro pessoas e conter três andares seu consumo se provou ser bem baixo no último ano, levando em conta que a tendência de consumo deve ser a mesma para o próximo ano o projeto respeitará essas informações.

Portanto podemos extrair a média de consumo de energia do último ano que foi de 196,5 kWh por mês ou aproximadamente 6,5 kWh por dia.

#### 4.3.2 Dimensionamento das placas fotovoltaicas

O Dimensionamento da placa fotovoltaica se trata do cálculo de demanda que se pretende suprir, assim o é realizado o cálculo da Potência de Pico de Geração da Placa (PPGP) como demonstrado na equação 1. Como já especificado as variáveis de Consumo diário médio anual de energia elétrica da edificação (E), e as horas de sol pleno média diária anual (HSPMA) necessárias para realização do cálculo, fica faltando apenas a Taxa de Desempenho (TD). Esta taxa será tratada como de 80% pelo local de implementação ser bem ventilado e não sombreado, assim sendo a equação 1 trás o seguinte resultado.

$$PPGP = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSPMA} \quad (1)$$

$$PPGP = \frac{\left(\frac{6,5 \text{ kWh/dia}}{0,80}\right)}{4,76 \text{ h}} \quad (1)$$

$$PPGP = 1,71 \text{ kWp} \quad (1)$$

### 4.3.3 Dimensionamento da quantidade placas fotovoltaicas

De posse do dimensionamento de PPGP necessários para suprir a demanda da casa podemos entrar na seara de dimensionamentos do número de placas necessárias para o sistema, além dessa informação serão necessárias algumas informações quanto a placa que será utilizada, esses dados são disponibilizados pelo fabricante, assim sendo utilizando a equação 2 será obtida a quantidade. O modelo Painel Solar Fotovoltaico 465W - ODA465-36V-MH, Figura 28, de silício Policristalino, foi selecionado para realização da modelagem, a tabela 4 apresenta as principais especificações técnicas do modelo.

Tabela 4 - Especificações técnicas Placa Fotovoltaica

Especificações Técnicas ODA465-36V-MH	
Fabricante	Osda
Potência Máxima (W)	465
Tensão Máxima Potência (V)	42,10
Corrente de Máxima Potência (A)	11,06
Tensão de Circuito Aberto Voc (V)	49,90
Corrente de Curto Circuito Isc (A)	11,78

Fonte: [27]

$$NP = \frac{PPGP}{PPP} \quad (2)$$

$$NP = \frac{1,71 \text{ kWp}}{465 \text{ Wp}} \quad (2)$$

$$NP = 3,6774 \text{ Módulos} \quad (2)$$

Assim determinamos a necessidade de 3,6774 módulos, como não podemos utilizar números com casas decimais utilizamos do próximo valor inteiro, no caso 4 módulos de 465 Wp serão utilizados para garantir a demanda de energia da casa.



Figura 28 – Placa Fotovoltaica ODA465-36V-MH

Fonte: [27]

#### 4.3.4 Dimensionamento do Inversor de Carga

O inversor escolhido para instalação necessariamente deve suportar com uma certa porcentagem livre quanto as tensões de entrada de tensão e corrente proveniente das placas fotovoltaicas do modelo ODA465-36V-MH.

Assim sendo foi selecionado o modelo SUN2000G3-US-220 já que com ele é possível conectar as quatro placas diretamente sem a necessidade de ligações série ou paralelo das placas, o inversor possui quatro entradas que suportam entrada de 12,5 A cada uma, com isso suprimos a necessidade de inversor para o sistema estudado em questão.

As especificações do Inversor de Carga, Figura 29, são apresentadas na Tabela 8.



Tabela 5 - Especificações técnicas Inversor de Carga

Especificações Técnicas SUN2000G3-US-220	
Fabricante	Deye
Entrada CC	
Tensão Máxima de Entrada (V)	60
Corrente máxima de Entrada	12,5 x 4
Saída CA	
Potência de Saída	2000 W
Corrente de Saída	9,1 A
Tensão Nominal	220 V
Frequência	60 Hz
Dimensões em mm	212x229x40

Fonte: [27]

$$FDI = \frac{PN_{ca}}{PPGP} \quad (3)$$

$$FDI = \frac{2000}{465 * 4} \quad (3)$$

$$FDI = 1,07 \quad (3)$$

De acordo com o manual do inversor SUN2000G3-US-220 é constatado que o inversor é capaz de operar com quatro entradas 60 volts cada uma, então cada entrada do inversor suporta 60 V e 12,5 A, a placa selecionada opera com no máximo 42,10 V e 11,06 A. Para sistemas fotovoltaicos devesse utilizar somente de cabos de 4mm<sup>2</sup> ou 6mm<sup>2</sup> para transmissão de energia CA, para a situação em questão o cabo de 4mm<sup>2</sup> foi selecionado seguindo os parâmetros instalados na casa. Seguindo guia de proteção para o inversor foi selecionado três disjuntores monopolares de 10 A. Dessa forma podemos ver que o inversor atende as necessidades do sistema com quatro placas fotovoltaicas, sendo capaz de operar com segurança.



Figura 29 – Inversor de Carga SUN2000G3-US-220

Fonte: [27]

#### 4.4 Orçamento de implementação previsto

Determinando o orçamento previsto para a implementação do SGEF com todos os dados calculados e recomendados pelos fabricantes das peças que estão sendo levadas em conta para modelagem capaz de suprir as necessidades da residência.

Tabela 6 – Orçamento Previsto

Quantidade	Descrição	Valor
4	Módulos ODA465-36V-MH	R\$ 4.320,00
1	Inversor SUN2000G3-US-220	R\$ 2.200,00
3	MINI DISJUNTOR UNIPOLAR 10A	R\$ 29,70
1	Materiais Elétricos	R\$ 250,00
1	Estrutura de Fixação	R\$ 600,00
Total		R\$ 7.399,70

O valor total do orçamento para o SGEF será de R\$ 7.399,70 cobrindo todos os gastos de peças a serem comprados. Seguindo será realizada a etapa de análise financeira do projeto estudado.

#### 4.5 Análise Financeira de Viabilidade

A fim de ter uma previsão de geração de energia para o próximo ano e ser possível a análise de viabilidade de investimento e determinação do tempo necessário para que o sistema se pagar, levamos em conta a vida útil dos módulos fotovoltaicos e do inversor que é indicado como sendo 25 anos. Sendo assim

podemos utilizar da equação 1, utilizando dos parâmetros levantados podemos calcular uma estimativa da energia a ser gerada no próximo ano, considerando taxa de desempenho das placas de 80%.

$$E = \text{PPGP} * \text{TD} * \text{HSP} * \text{Dias} \quad (1)$$

Tabela 7 – Projeção de Geração de Energia

Mês	Dias	Potência do Sistema(KW)	Irradiação Solar	Taxa de Desempenho	Projeção de Geração de Energia(KWh)
Jan	31	1,86	5,39	0,8	248,63
Fev	28	1,86	5,66	0,8	235,82
Mar	31	1,86	4,78	0,8	220,49
Abr	30	1,86	4,32	0,8	192,84
Mai	31	1,86	3,59	0,8	165,60
Jun	30	1,86	3,37	0,8	150,44
Jul	31	1,86	3,43	0,8	158,22
Ago	31	1,86	4,37	0,8	201,58
Set	30	1,86	4,49	0,8	200,43
Out	31	1,86	4,82	0,8	222,34
Nov	30	1,86	4,87	0,8	217,40
Dez	31	1,86	5,51	0,8	254,17
Total Gerado Anual					2467,95

Dessa forma temos a tabela 7, demonstra a projeção mensal de geração de energia e somando todos os meses a previsão é de 2467,95 KWh, esse total terá um valor total de conta de R\$ 2888,77 no ano. Supondo uma taxa de juros de 20% e a economia anual de R\$ 2888,77 de gastos nos anos de vida útil das placas fotovoltaicas temos a seguinte tabela.

Tabela 8 – Payback Descontado

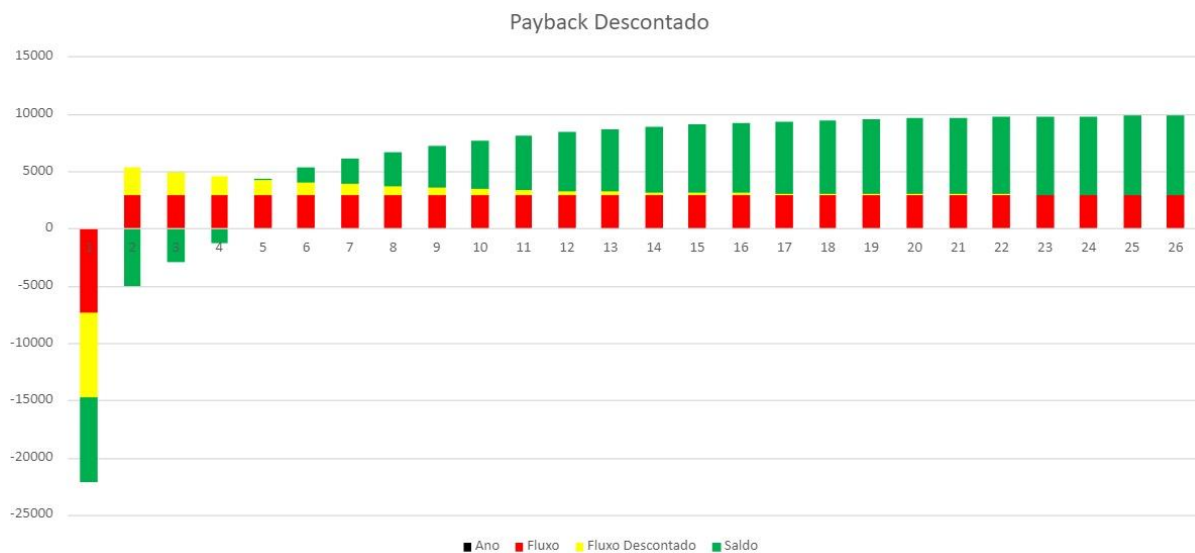
Ano	Fluxo	Fluxo Descontado	Saldo
0	-R\$ 7.399,70	-R\$ 7.399,70	-R\$ 7.399,70
1	R\$ 2.888,77	R\$ 2.626,15	-R\$ 4.773,55
2	R\$ 2.888,77	R\$ 2.387,41	-R\$ 2.386,13
3	R\$ 2.888,77	R\$ 2.170,38	-R\$ 215,76
4	R\$ 2.888,77	R\$ 1.973,07	R\$ 1.757,31
5	R\$ 2.888,77	R\$ 1.793,70	R\$ 3.551,01
6	R\$ 2.888,77	R\$ 1.630,64	R\$ 5.181,65
7	R\$ 2.888,77	R\$ 1.482,40	R\$ 6.664,04

8	R\$ 2.888,77	R\$ 1.347,63	R\$ 8.011,67
9	R\$ 2.888,77	R\$ 1.225,12	R\$ 9.236,80
10	R\$ 2.888,77	R\$ 1.113,75	R\$ 10.350,54
11	R\$ 2.888,77	R\$ 1.012,50	R\$ 11.363,04
12	R\$ 2.888,77	R\$ 920,45	R\$ 12.283,49
13	R\$ 2.888,77	R\$ 836,77	R\$ 13.120,26
14	R\$ 2.888,77	R\$ 760,70	R\$ 13.880,97
15	R\$ 2.888,77	R\$ 691,55	R\$ 14.572,51
16	R\$ 2.888,77	R\$ 628,68	R\$ 15.201,19
17	R\$ 2.888,77	R\$ 571,53	R\$ 15.772,72
18	R\$ 2.888,77	R\$ 519,57	R\$ 16.292,29
19	R\$ 2.888,77	R\$ 472,34	R\$ 16.764,63
20	R\$ 2.888,77	R\$ 429,40	R\$ 17.194,03
21	R\$ 2.888,77	R\$ 390,36	R\$ 17.584,39
22	R\$ 2.888,77	R\$ 354,87	R\$ 17.939,26
23	R\$ 2.888,77	R\$ 322,61	R\$ 18.261,87
24	R\$ 2.888,77	R\$ 293,28	R\$ 18.555,16
25	R\$ 2.888,77	R\$ 266,62	R\$ 18.821,78

Taxa de juros	10,00%
---------------	--------

Payback descontado	3,11 Anos
--------------------	-----------

Gráfico 5 - Payback Descontado



Assim temos um *payback* descontado de 3,11 anos, como podemos ver na Tabela 8 e demonstrado no Gráfico 5, isso quer dizer que utilizando de uma taxa de correção de preço de 20% em praticamente 3 anos o projeto cobre seu investimento

inicial, assim o saldo de economia que gera passa a ser um dinheiro em caixa para a pessoa que instalou o SGEF que pode ser utilizado para realizar outras melhorias na casa.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo de caso apresentado no decorrer do trabalho foi desenvolvido com o intuito de trazer clareza na viabilidade financeira de implementação do SGEF em uma residência unifamiliar localizada na cidade de Resende, utilizando o sistema de geração de energia fotovoltaica como uma fonte alternativa de energia para que não seja necessário o consumo integralmente proveniente da rede de distribuição fornecida pela empresa local.

O embasamento do estudo de caso foi realizado com base em dados solarimétricos provenientes das estações de monitoramento do CRESESB e os dados de consumo provenientes do consumo e cobranças passadas da casa, de posse dessas informações foram realizados os cálculos de consumo energético da residência e de posse dessa informação a escolha das placas fotovoltaicas e os cálculos necessários para dimensionamento dos componentes do sistema. Com o preço total do sistema levantado foi possível realizar os cálculos de viabilidade financeira.

Dessa forma é possível concluir, analisando os dados levantados e os custos necessários para implementação, o projeto sendo implementado nos dias de hoje e considerando uma taxa de juro para correção monetária de 10% terá um retorno completo do investimento em aproximadamente 3 anos, assim tendo o resto do tempo de vida útil da placa fotovoltaica trazendo uma economia de custo muito boa para a família, que pode vir a desenvolver novos projetos com os frutos dessa economia.

### **5.1 Pesquisas futuras**

Como pesquisa futura e melhoria para o estudo de caso realizado, temos a possibilidade da mudança na Lei 14300 que trará um custo de utilização da rede, a

mudança seria realizada no ano de 2023 porém teve um adiamento, então futuramente poderá ser implementada essa variável ao trabalho e também a possibilidade de desenvolvimento de um aplicativo capaz de simular a implementação do sistema em uma residência qualquer. Pode ser realizado um estudo de ampliação do sistema SGEF.

Outra ideia de melhoria, seria o estudo do MPPT (maximum power point tracking), que realiza uma análise da tensão e potência, para poder encontrar os pontos de máximo geração da placa fotovoltaica.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. Milagres, ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA RESIDÊNCIA AUTOSSUSTENTÁVEL, Ouro Preto, 2016.
- [2] A. Matavelli, Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas, Lorena, 2013.
- [3] EPE, “Empresa de Pesquisa Energética,” [Online]. Available: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. [Acesso em 17 Julho 2022].
- [4] B. Morais e I. Barreiros, A Gestão da Matriz Energética no Brasil: Uma Análise dos Últimos 20 Anos, Niterói, 2020.
- [5] ANEEL, “Agência Nacional de Energia Elétrica,” [Online]. Available: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/expansao-da-potencia-instalada-no-brasil-em-julho-e-de-708-78-mw>. [Acesso em 25 Julho 2022].
- [6] B. Silva e E. Abreu, ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA MICRO USINA FOTOVOLTAICA EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR, Caratinga, 2017.
- [7] M. Texeira, “Brasil Escola,” [Online]. Available: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-carga-eletrica.htm>. [Acesso em 14 agosto 2022].
- [8] CRESESB-CEPEL, ENERGIA SOLAR PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES, 2006.
- [9] ABSOLAR, “Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica,” [Online]. Available: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. [Acesso em 10 Agosto 2022].
- [10] A. Philippi Júnior e L. B. d. Reis, “Energia e sustentabilidade,” 2016.
- [11] A. C. Júnior e I. M. d. Souza, CÉLULAS FOTOVOLTAICAS O FUTURO DA ENERGIA ALTERNATIVA, Goianésia, 2018.
- [12] NEOSOLAR. [Online]. Available: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. [Acesso em 18 Agosto 2022].

- [13] SOLARPRIME. [Online]. Available: <https://solarprime.com.br/7-vantagens-energia-solar-em-casa/>. [Acesso em 23 Agosto 2022].
- [14] BLOXS. [Online]. Available: <https://conteudos.bloxs.com.br/energia-solar-no-brasil>. [Acesso em 13 Agosto 2022].
- [15] BLUESOL. [Online]. [Acesso em 2022 Agosto 26].
- [16] P. SOLAR. [Online]. Available: <https://www.portalsolar.com.br/folha-de-dados-do-painel-solar-o-que-voce-precisa-saber.html>. [Acesso em 20 Agosto 2022].
- [17] I. ESCOLA. [Online]. Available: <https://www.infoescola.com/elementos-quimicos/silicio/>. [Acesso em 17 Outubro 2022].
- [18] A. J. Bühler, F. H. d. Santos e I. J. Gabe, UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS, Gramado, 2018.
- [19] R. P. Braga, Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações, Rio de Janeiro, 2008.
- [20] R. A. d. S. Santos, ESTUDOS DE CASO E COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID E OFF-GRID, Lages, 2019.
- [21] R. K. NIEDZIALKOSKI, DESEMPENHO DE PAINÉIS SOLARES MONO E POLICRISTALINOS EM UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA, Cascavel, 2013.
- [22] P. Alisson Cruz, "GERAÇÃO DE ENERGIA PARA CONDOMÍNIO UTILIZANDO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO - ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL COM SEIS PAVIMENTOS", Belo Horizonte, 2012.
- [23] C. d. A. Santos e T. d. P. e. Souza, APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON GRID E OFF GRID, Colatina, 2021.
- [24] TRXSolar. [Online]. Available: <https://loja.trxsolar.com/loja/noticia.php?loja=655927&id=31>. [Acesso em 2022 Novembro 02].



- [25] M. T. 2022. [Online]. Available: <https://discover.maxar.com/>. [Acesso em 20 Outubro 2022].
- [26] P. J e Galdino, Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, Rio de Janeiro: CEPEL-CRESEB, 2013.
- [27] Neosolar. [Online]. Available: <https://www.neosolar.com.br/loja/kit-gerador-energia-solar-1-86kwp-microinversor-deye-sun2000-g3-osda-465w.html>. [Acesso em 15 Outubro 2022].
- [28] CRESEB-CEPEL. [Online]. Available: <http://www.cresesb.cepel.br>. [Acesso em 20 Outubro 2022].