



**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Amazonas

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS – IFAM  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL – CURSO TECNOLOGIA EM  
ELETRÔNICA INDUSTRIAL**

**CARLOS ALBERTO PEREIRA DA SILVA JÚNIOR**

**ECONOMIA DE ENERGIA: ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E  
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL NA  
CIDADE DE MANAUS/AM**

**Manaus – AM**

**2023**

**CARLOS ALBERTO PEREIRA DA SILVA JÚNIOR**

**ECONOMIA DE ENERGIA: ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E  
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL NA  
CIDADE DE MANAUS/AM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM/CMDI), como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Fabian Bezerra de Oliveira

**Manaus - AM**

**2023**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586e	<p>Silva Júnior, Carlos Alberto Pereira da. Economia de energia: estudo da eficiência energética e dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial na cidade de Manaus-AM / Carlos Alberto Pereira da Silva Júnior. — Manaus, 2023. 74f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, 2023. Orientador: Prof.º Fabian Bezerra de Oliveira, Esp.</p> <p>1. Sistema fotovoltaico. 2. Economia de energia. 3. Eficiência energética. I. Oliveira, Fabian Bezerra de Oliveira. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 621.381</p>
-------	---

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

CARLOS ALBERTO PEREIRA DA SILVA JÚNIOR

**ECONOMIA DE ENERGIA: ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E  
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL NA  
CIDADE DE MANAUS/AM**

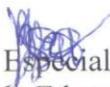
Monografia apresentada à banca examinadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Aprovado em 05 de abril de 2023

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Especialista Fabian Bezerra de Oliveira  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)



Prof.<sup>a</sup> Especialista Katia Cristina De Menezes Santos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)



Prof.<sup>a</sup> Dra. Laura Michaela Batista Ribeiro  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

Dedico aos meus familiares e pais, o fruto do nosso esforço, o qual, só foi possível devido ao apoio, incentivo e compreensão que deles recebi durante este primeiro passo para o futuro.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por toda a força e estímulo que tem me dado para a conclusão de mais uma etapa na minha vida, com determinação e vontade alcançando meus objetivos.

Aos meus pais, irmãos, esposa e filhos por sempre me darem força para que eu continue os estudos, incentivando sempre o crescimento pessoal e intelectual.

Aos meus amigos e amigas pela paciência, compreensão e amizade em todos os momentos difíceis de minha vida.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Campus Manaus Distrito industrial, por tudo que aprendi ao longo do curso.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Ao meu orientador, por todo o suporte e apoio.

## RESUMO

O presente estudo tem como objetivo geral analisar o consumo de energia elétrica através de uma fatura e dimensionar um sistema fotovoltaico de uma residência da área urbana de Manaus/AM, avaliando sua viabilidade financeira no atual cenário da economia de energia. O trabalho se inicia com a introdução de conceitos básicos sobre a geração fotovoltaica e elementos que compõem um sistema fotovoltaico. A fatura de energia elétrica da residência é analisada, e é realizada uma avaliação técnica dos locais disponíveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos, além de dados locais como a irradiação solar encontrada através de ferramenta web e critérios de consideração de projeto. Em seguida, os modelos dos equipamentos comerciais que compõem o sistema de geração fotovoltaica são escolhidos, e o sistema é orçado. Com o auxílio de ferramentas computacionais, são encontrados indicadores financeiros como o valor presente líquido, taxa interna de retorno e payback. Os resultados revelam que o sistema é viável tanto técnica quanto financeiramente.

**Palavras-chave:** Economia de energia, Sistema fotovoltaico, Estudo de viabilidade financeira.

## **ABSTRACT**

The present study aims to analyze the electricity consumption through a bill and size a photovoltaic system of a residence in the urban area of Manaus/AM, evaluating its financial feasibility in the current energy economy scenario. The work starts with the introduction of basic concepts about photovoltaic generation and elements that make up a photovoltaic system. The residence's electricity bill is analyzed, and a technical evaluation of the available locations for the installation of photovoltaic modules is carried out, as well as local data such as solar irradiation found through a web tool and project consideration criteria. Then, the models of the commercial equipment that make up the photovoltaic generation system are chosen, and the system is budgeted. With the aid of computational tools, financial indicators such as net present value, internal rate of return, and payback are found. The results show that the system is viable both technically and financially.

**Keywords:** Energy economy, Photovoltaic system, Financial feasibility study.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Energia solar fotovoltaica.....	17
Figura 2 - Tipos de lâmpadas.....	22
Figura 3 - Irradiação solar. ....	26
Figura 4 - Sistema conectado à rede elétrica (On -Grid).....	27
Figura 5 - Sistema desconectado da rede (Off-Grid).....	27
Figura 6 - Panorama da matriz energética no Brasil. ....	29
Figura 7 - Apresentação da etiqueta de eficiência energética.....	35
Figura 8 - Principais faixas de energia. ....	36
Figura 9 - Formação de uma estrutura cristalina do silício após a inserção de fósforo. .....	37
Figura 10 - Efeito fotovoltaico na junção PN. ....	38
Figura 11 - Componentes de um módulo fotovoltaico.....	40
Figura 12 - O minério de silício purificado, o forno de Czochralski, lingote de silício, as fatias (wafers) e a célula fotovoltaica monocristalina. ....	42
Figura 13 - O minério de silício purificado, a fundição em bloco do silício, os “tijolos de silício” cortados, as fatias (wafers) e a célula fotovoltaica policristalina. ....	43
Figura 14 - Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas. ....	45
Figura 15 - Telhado do local estudado.....	58
Figura 16 - Irradiação solar diária de Manaus.....	58
Figura 17 - Calculo média de HSP.....	59
Figura 18 - Módulo Fotovoltaico 450Wp ODA450-36-HM OSDA.....	59
Figura 19 - Cálculo de potência de pico do painel fotovoltaico.....	61
Figura 20 - Calculo número de quantidade de painéis.....	61
Figura 21 - Calculo potência corrigida.....	61
Figura 22 - Cálculo de área do painel.....	62
Figura 23 - Calculo FDI inversor.....	62
Figura 24 - Inversor Fronius.....	63
Figura 25 - Formula para cálculo de Payback.....	64
Figura 26 - Proposta NeoSolar kit 5.40 kWP.....	65

Figura 27 - Formula utilizada para cálculo de VPL usando o Excel .....	67
Figura 28 - Formula utilizada para cálculo de TIR usando o Excel. ....	67
Figura 29 - Base de Dados das Tarifas das Distribuidoras de Energia Elétrica. ....	68
Figura 30 - Valor da TUSD Fio B Amazonas Energia. ....	69
Figura 31 – Equação valor taxaço do Sistema FV 2023. ....	69

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dados de consumo e custo com energia elétrica da residência .....	57
Tabela 2 - Fluxo de caixa e payback.....	66
Tabela 3 - Taxas fio B. ....	70
Tabela 4 -Fluxo de caixa e payback descontada a taxa do fio B.....	70
Tabela 5 -Comparação dos resultados obtidos no projeto com e sem taxaço. ....	72

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1- Dados Gerais do painel fotovoltaico utilizado no estudo. ....	60
Quadro 2 - Dados do Inversor .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
HSP	Horas de Sol Pleno
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NBR	Norma Brasileira
NOCT	Temperatura nominal de operação da célula solar
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
STC	Condições padrões de teste
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Média de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1</b>	<b>Problematização da pesquisa</b> .....	14
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	14
1.2.1	Objetivo geral .....	14
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
<b>1.3</b>	<b>Justificativa</b> .....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEORICA</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Energia solar fotovoltaica</b> .....	17
<b>2.2</b>	<b>Energia solar fotovoltaica no Brasil</b> .....	18
<b>2.3</b>	<b>A importância da utilização de equipamentos energeticamente eficientes</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)</b> .....	23
<b>2.5</b>	<b>Resolução normativa 482 e 687</b> .....	24
<b>2.6</b>	<b>Irradiação solar</b> .....	25
<b>2.7</b>	<b>Tipos de energia solar</b> .....	26
<b>2.8</b>	<b>A importância da utilização de meios alternativos para a geração de energia elétrica</b> .....	28
<b>2.9</b>	<b>Aspectos gerais relacionados ao aumento da eficiência energética</b> 32	
<b>2.10</b>	<b>Os principais efeitos fotovoltaicos</b> .....	36
<b>2.11</b>	<b>As células fotovoltaicas</b> .....	39
2.11.1	Células de silício monocristalino.....	40
2.11.2	Células de silício policristalino .....	43
2.11.3	Células de silício amorfo .....	43
2.11.4	Células de filme fino .....	44
2.11.5	Comparação das diferentes tecnologias .....	45
<b>2.12</b>	<b>Características de um sistema fotovoltaico</b> .....	46
<b>2.13</b>	<b>Vantagens e desvantagens relacionadas à utilização de sistemas fotovoltaicos</b> .....	48
<b>2.14</b>	<b>Análise financeira</b> .....	49
2.14.1	Payback.....	49
2.14.2	Valor presente líquido – VPL.....	50
2.14.3	Taxa interna de retorno – TIR .....	51
<b>2.15</b>	<b>A taxa do sistema lei 14.300/22</b> .....	51
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	54
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCURSÕES</b> .....	56
<b>4.1</b>	<b>Projeto</b> .....	56
4.1.1	Análise do consumo de energia .....	56
4.1.2	Descrição do local estudado.....	57

4.1.3	Irradiação solar de Manaus.....	58
<b>4.2</b>	<b>Dimensionamento do sistema.....</b>	<b>59</b>
4.2.1	Potência de pico do painel fotovoltaico .....	59
4.2.2	Dimensionamento do número de painéis fotovoltaicos .....	61
4.2.3	Calculo de área para instalação dos painéis.....	62
4.2.4	Dimensionamento do Inversor.....	62
<b>4.3</b>	<b>Análise financeira.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4</b>	<b>Taxação do fio B.....</b>	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as energias renováveis são uma realidade presente em nossa sociedade e seus os benefícios ambientais são mais que óbvios. Todas as sociedades do planeta são consumidoras de energia em maior ou menor grau, mas a realidade é que a maior parte da energia consumida é proveniente de fontes não renováveis, como combustíveis fósseis e energia nuclear, cujo impacto negativo no meio ambiente é superior. Um aspecto importante das energias renováveis é que elas podem ser aplicadas e exploradas localmente, o que ajuda a reduzir a dependência da população de grandes produtores de energia, favorecendo o desenvolvimento econômico e a criação de empregos.

Teoricamente, a exploração de energias renováveis gera poucos poluentes: em particular, a eletricidade proveniente de fontes renováveis emite muito pouco CO<sub>2</sub>, especialmente quando comparada a combustíveis fósseis, como o carvão. Por esse motivo, as energias renováveis são um vetor particular da luta contra o aquecimento global. Elas também são consideradas um fator de resiliência porque permitem produções descarbonatadas e descentralizadas.

A principal diferença entre energias renováveis e energias cinzentas é que elas são limitadas em quantidade e acabam com o tempo. As energias renováveis têm a capacidade de se regenerar tão rápido quanto são usadas, diferentemente das energias cinzentas. Além disso, as energias não renováveis incluem, entre outros, materiais fósseis, como petróleo, carvão, óleo combustível, mas também energia nuclear. Eles são, portanto, muito mais poluentes que as energias verdes, também conhecidas como energias renováveis, são aquelas geradas a partir de fontes naturais que se regeneram constantemente, como a energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa, geotérmica e das ondas e marés. Nesta perspectiva, surge a seguinte questão: De que modo as placas fotovoltaicas têm corroborado com a melhoria da eficiência energética em edificações residenciais, comerciais e industriais?

Espera-se comprovar que a produção de Energia Fotovoltaica pode colaborar com a redução de custos com a energia elétrica de residências, comercios e industrias contribuindo assim para redução dos impactos ambientais.

O Brasil é referência no que se refere a energias renováveis devido a vasta gama de recursos naturais disponíveis de forma abundante. É preciso então, que

investimentos conscientes e políticas eficazes sejam desenvolvidas em prol da conservação do meio ambiente.

Tendo em vista este panorama, a pesquisa busca evidenciar quais são os principais desafios relacionados à busca por medidas de eficiência energética, com foco na utilização de placas fotovoltaicas. Para a elaboração desta revisão, o trabalho foi dividido em cinco capítulos.

No primeiro, apresenta-se os elementos introdutórios a este estudo, como a contextualização, problema de pesquisa, objetivos e justificativa.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica necessária ao desenvolvimento do trabalho, ressalta-se a importância da utilização de meios alternativos para a geração de energia elétrica. Introduce-se os aspectos gerais relacionados ao aumento da eficiência energética, com foco na economia de energia e no consumo consciente, assim como apresentamos alguns indicadores utilizados para avaliar a viabilidade de um projeto. Discute-se também sobre a utilização da energia solar fotovoltaica no Brasil e sobre a importância de se utilizar equipamentos que sejam energeticamente eficientes e sustentáveis.

No terceiro capítulo expõe a metodologia de desenvolvimento adotada na pesquisa.

O quarto e quinto capítulos apresentam as análises de resultados e as conclusões, introduz-se os métodos indicados para a análise econômica e a viabilidade técnica e financeira a partir de resultados obtidos no projeto.

## **1.1 Problematização da pesquisa**

De que modo as placas fotovoltaicas têm corroborado com a melhoria da eficiência energética em edificações residenciais, comerciais e industriais?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Analisar o consumo de energia elétrica através de uma fatura e dimensionar um sistema fotovoltaico de uma residência da área urbana de Manaus/AM e avaliar sua viabilidade financeira no atual cenário da economia de energia, com foco na busca por eficiência energética a partir de placas fotovoltaicas.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Discutir sobre a importância da utilização de meios alternativos para a geração de energia elétrica;
- Contextualizar o uso das placas fotovoltaicas no Brasil;
- Apresentar os principais aspectos relacionados à incorporação da eficiência energética nas edificações, assim como seus conceitos e indicações.
- Viabilidade técnica e financeira do projeto de pesquisa, utilizando ferramentas de análise financeira: Payback, VPL e TIR.

## **1.3 Justificativa**

É imperativo que a sociedade atual empregue técnicas de gestão de energia de forma a reduzir os efeitos ambientais do efeito de estufa e preservar os recursos naturais a longo prazo. Essas estratégias são fundamentais para manter a eficiência econômica e os recursos naturais, além de reduzir os danos ao meio ambiente. Reunidas entre essas abordagens estão as iniciativas de corte de custos de energia e gestão ambiental, citando-se, como exemplo, a implementação das placas

fotovoltaicas em edificações residenciais e comerciais, com foco na economia de energia e no aumento da eficiência energética desses espaços.

A sociedade atual, diante desse novo cenário, tem incentivado o uso racional da eletricidade para mitigar os efeitos do efeito estufa e proteger os recursos naturais. Tem-se conseguido alcançar este objetivo por meio da economia do consumo, gerenciamento eficiente de energia e conservação ambiental. As evidências científicas têm pontuado que para que seja possível utilizar efetivamente os recursos energéticos, é necessário fornecer energia a longo prazo por meio de esforços educacionais adequados.

Tais atitudes podem ajudar a reduzir a necessidade de sistemas de produção, transmissão e distribuição de energia de curto prazo. Esses sistemas também podem ser evitados adiando certos tipos de investimentos. Quando se trata de geração distribuída fotovoltaica, a Agência Nacional de Energia Elétrica classifica as usinas de pequeno porte de até 75 kW de potência como fontes de mini e microgeração. No Brasil, os consumidores podem gerar energia de forma independente a partir de fontes renováveis ou qualificar a micro e a minigeração.

Eles também podem fornecer energia em excesso para a rede de distribuição, ou DR, em sua localização. Isso foi possível graças a lei aprovada pela Agência Nacional de Regulação Energética do país em abril de 2012. A Lei Nº 482 foi elaborada pela ANEEL; passou a vigorar a partir de 17 de abril de 2012. Sabe-se que o uso da tecnologia tornou as pessoas dependentes dela. Utilizam constantemente telefones celulares, computadores, eletrodomésticos e outros dispositivos para a realização das mais diversas atividades.

Essa alta demanda de energia exige o uso de dispositivos de conservação de energia. Nota-se, em alguns casos, os cidadãos podem obter créditos em suas contas de eletricidade a cada mês ao reduzirem o consumo. Esses créditos podem ser usados para diminuir o custo do uso de eletricidade no mês seguinte. As melhorias na tecnologia têm sido benéficas para a sociedade. No entanto, também tornaram as pessoas dependentes desses avanços e as forçaram a usar recursos que antes não precisavam. O racionamento e a economia de energia elétrica são foco de discussões constantes no Brasil devido à escassez de chuvas.

Devido a isso, a justificativa que torna este estudo relevante diz respeito ao fato de que promove uma discussão sobre uma alternativa melhor do que depender

apenas de usinas termelétricas e outros métodos de geração de energia, como a implantação de placas fotovoltaicas. Sabe-se que a qualidade da energia elétrica resulta dos harmônicos causados pela eletrônica em máquinas e aparelhos. Essas frequências harmônicas podem causar danos significativos aos consumidores residenciais, comerciais e industriais em redes de energia. A eficiência de energia envolve o uso de energia de forma mais eficaz para produzir mais rendimento ou menos perda.

O racionamento de energia, por outro lado, envolve o controle da distribuição de eletricidade usando recursos limitados. As medidas de eficiência energética também ajudam a reduzir as perdas causadas por interrupções, como flutuações de energia e desequilíbrio de tensão. Além disso, ajuda a mitigar problemas relacionados a harmônicos de qualidade de energia e fator de potência. A apresentação dessas formas alternativas de se conservar energia e otimizar os comércios, indústrias e residências justifica a relevância desta pesquisa para a comunidade acadêmica e para a sociedade em geral, pois as informa e conscientiza acerca da importância de se economizar energia e investir nas placas fotovoltaicas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

### 2.1 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é uma forma de geração de energia elétrica que utiliza a luz solar como fonte de energia. Essa tecnologia tem ganhado cada vez mais importância na matriz energética mundial, devido à sua eficiência, sustentabilidade e redução de custos. Os painéis solares fotovoltaicos são os responsáveis pela conversão da luz solar em energia elétrica conforme mostra Figura 1. Eles são compostos por células solares que capturam a luz do sol e a transformam em eletricidade através do efeito fotovoltaico. A energia produzida pelos painéis pode ser utilizada imediatamente ou armazenada em baterias para uso posterior.

Figura 1 - Energia solar fotovoltaica.



Fonte: <https://energiasolarlucrativa.com.br>.

Uma das principais vantagens da energia fotovoltaica é a sua capacidade de gerar energia de forma limpa e renovável. Ao contrário das fontes de energia fóssil, como o petróleo e o carvão, a energia solar não emite gases poluentes na atmosfera e não contribui para o aquecimento global. Além disso, a energia fotovoltaica é uma fonte de energia descentralizada, ou seja, pode ser gerada em locais próximos ao consumo, o que reduz as perdas na transmissão e distribuição de energia elétrica.

A implantação de sistemas fotovoltaicos em residências, empresas e indústrias também pode gerar economia na conta de energia elétrica. Com a redução de custos

dos equipamentos e a política de incentivos governamentais, cada vez mais pessoas estão optando por gerar a sua própria energia elétrica. A energia fotovoltaica também tem potencial para contribuir para a inclusão social e o desenvolvimento econômico de regiões isoladas, que não têm acesso à energia elétrica ou dependem de fontes caras e poluentes, como geradores a diesel.

No entanto, é importante ressaltar que a energia fotovoltaica não é uma solução isolada para os desafios energéticos que enfrentamos atualmente. É necessário investir em políticas públicas que incentivem o uso de fontes renováveis de energia, como a solar, e a redução do consumo de energia, através da eficiência energética e da adoção de tecnologias mais sustentáveis.

## **2.2 Energia solar fotovoltaica no Brasil**

Tem-se registrado que a energia solar ou fotovoltaica em uma ampla gama de países, é reiterada como uma das principais formas de se reduzir os impactos negativos causados ao meio ambiente em razão das mudanças climáticas, essas atreladas ao uso inconsciente de combustíveis fósseis (SILVERO et al., 2019). Em relação ao cenário nacional, o uso desse tipo de energia ainda é incipiente. Em 2022, o balanço energético nacional identificou que a energia solar representava apenas 2,5% da oferta de eletricidade do Brasil (REBOUÇAS et al., 2022).

A energia solar fotovoltaica demanda a geração de eletricidade através do efeito fotovoltaico; cria-se esse efeito quando a luz solar interage com materiais semicondutores (OLIVA, 2017). É por isso que os países com energia solar fotovoltaica recebem uma vantagem energética sobre outros países (PACHECO; LAMBERTS, 2013). O silício, dentre os materiais semicondutores, é o mais comumente utilizado (RODRIGUEZ-UBINAS et al., 2014). Seu sistema fotovoltaico inclui um bloco de condicionamento de energia, um gerador e blocos de armazenamento (RÜTHER; ZILLES, 2011).

Embora a energia solar represente apenas 2,5% da oferta de eletricidade no Brasil, conforme mencionado, é crucial analisar as razões para essa participação incipiente e os desafios enfrentados para expandir essa fonte de energia no país. Um ponto importante a se considerar é o custo dos sistemas fotovoltaicos e a necessidade de investimentos e políticas públicas que possam reduzir esses custos e tornar a

energia solar mais acessível e atrativa para consumidores e empresas. Assim, há que discutir sobre a infraestrutura de distribuição de energia e a capacidade de integrar adequadamente a energia solar à matriz energética existente.

Observa-se que a intermitência da energia solar, devido à variação da incidência solar ao longo do dia e das estações do ano, pode gerar desafios no gerenciamento e na distribuição dessa energia. Portanto, é importante investir em tecnologias de armazenamento e em sistemas de controle avançados para melhorar a eficiência e a confiabilidade dessa fonte de energia.

Dessa maneira, a conscientização e a educação da população e das empresas sobre os benefícios da energia solar são fatores cruciais para impulsionar sua adoção em larga escala. Campanhas de informação e programas de treinamento podem desempenhar um papel fundamental na disseminação do conhecimento sobre as vantagens da energia solar e em como implementar e gerenciar sistemas fotovoltaicos. Ademais, seria interessante considerar também o potencial da energia solar no Brasil, dada a abundância de recursos solares no país.

Assim, essa perspectiva abre caminho para o desenvolvimento de estratégias e políticas voltadas para a exploração desse potencial e para o estabelecimento do Brasil como líder global no setor de energia solar. Outro aspecto a ser pontuado é que os elétrons têm bandas chamadas bandas de energia que contêm espaço vazio entre si (SAGBANSUA; BALO, 2017). Tanto o bloco do gerador quanto o bloco de condicionamento de energia apresentam matrizes fotovoltaicas com módulos fotovoltaicos (SOLANGI et al., 2011). Eles também possuem sistemas de cabeamento elétrico que se conectam entre si para se interligar. A estrutura de suporte conecta os sistemas de cabeamento elétrico e contém blocos elétricos que incluem acumuladores ou baterias para armazenamento de energia (TOKARIK; RICHMAN, 2016).

Finalmente, o bloco de armazenamento possui baterias ou outros meios de armazenamento de energia (TOLEIKYTE; KRANZL; MÜLLER, 2018). A tensão de uma célula fotovoltaica diminui à medida que a temperatura aumenta. No entanto, deve-se considerar o sistema celular ao avaliar esse efeito (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015). Ao considerar as ondas eletromagnéticas, é importante observar que alguns materiais podem causar tensões ou correntes elétricas quando as ondas eletromagnéticas passam por eles (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2018).

Além disso, alguns materiais podem alterar uma propriedade elétrica quando afetados por ondas eletromagnéticas (NIEMELÄ; KOSONEN; JOKISALO, 2017). Para receber energia da rede pública, recomenda-se a utilização do sistema On grid. Por esse motivo, geralmente, tende-se a optar pela utilização desse modelo (MONTENEGRO, 2013). Alternativamente, é possível utilizar o sistema Off Grid. Nesse caso, não se depende de um fornecedor de eletricidade; em vez disso, pode-se usar baterias para armazenar energia elétrica capturada (MORAN; GOGGINS; HAJDUKIEWICZ, 2017).

Durante as horas noturnas, essa energia não estará disponível porque a radiação do sol interrompe os efeitos fotovoltaicos e fotoelétricos (MITSCHER; RÜTHER, 2012). Com isso, atinge-se um dos principais objetivos buscados pelos brasileiros quanto à pauta da energia, que é um consumo mais econômico (LIANG; KRÜGER, 2017). Assim, tendo em vista o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos e os diferentes componentes envolvidos no processo de geração, transmissão e armazenamento de energia solar, é importante também considerar a eficiência de diferentes tipos de células fotovoltaicas e tecnologias disponíveis no mercado. Isso pode ajudar os consumidores a tomar decisões informadas ao escolher o melhor sistema para suas necessidades.

Dessa maneira, observa-se que os sistemas Off Grid podem proporcionar maior autonomia energética e ser uma solução ideal para áreas remotas, enquanto sistemas On Grid podem permitir a venda do excedente de energia gerada de volta à rede elétrica, beneficiando o consumidor e o sistema energético como um todo, todavia há vantagens e desvantagens que não podem ser descartadas, visto que ainda não é uma tecnologia acessível para a maior parte da população brasileira, o que torna o investimento em políticas públicas com este foco uma questão urgente a ser debatida e articulada pelo Poder Público.

### **2.3 A importância da utilização de equipamentos energeticamente eficientes**

Os esforços do Brasil voltados à redução do uso de energia em todo o território nacional muitas vezes chamam a atenção para a necessidade de melhores métodos que promovam esta consciência (HAMILTON et al., 2016). Isso ocorre porque os cidadãos de países de baixa renda têm dificuldade em implementar métodos práticos

que os ajudem, no cotidiano, a reduzir o uso de energia (DIAS et al., 2017). Isso ocorre porque muitos desses métodos exigem que as pessoas considerem os impactos ambientais de suas ações, bem como as maneiras alternativas de utilizar energia de maneira sustentável (FERREIRA; ALMEIDA; RODRIGUES, 2016).

Assim sendo, substituir aparelhos e sistemas de iluminação ineficientes como LEDs ou lâmpadas incandescentes ajuda a melhorar a eficiência, mantendo a qualidade de vida (ALMEIDA et al., 2015). Esta é uma das medidas indicadas para se evitar o desperdício, o que implica a substituição de aparelhos e dispositivos ineficientes, uma vez que induzem a um consumo elevado de energia (BUENO et al., 2018). Ademais, as evidências também têm chamado a atenção para o fato de que é urgente a substituição de métodos convencionais por métodos mais novos e mais eficientes (VALE et al., 2017).

Com tais hábitos, efetivamente mais sustentáveis, produz-se a eficiência energética semelhante à quantidade de energia necessária para executar uma ação específica (BORGES et al., 2016). Uma das principais medidas relacionadas a esses novos métodos é a utilização de lâmpadas de LED, inversores para condicionadores de ar e outros dispositivos (D'ÁVILA; PRANDO; MORILLA, 2016). À medida em que essas atitudes são naturalizadas no dia a dia dos cidadãos, a eficiência energética pode reduzir o consumo de energia e evitar multas por exceder as demandas de energia contratadas, problema este que tem sido recorrente em todo o território nacional (FIRMINO; SOUSA, 2015).

Também há que se mencionar que esses cuidados podem ajudar de maneira expressiva a reduzir o desperdício de energia a partir de métodos de conservação de energia sem que haja o comprometimento produtividade ou do próprio conforto térmico dos cidadãos (MONTAÑEZ, 2020). Esses métodos incluem sobretudo a utilização, no dia a dia, de ferramentas, aparelhos e software eficientes em termos de energia (MARQUES, 2019). A Figura 2, apresenta um conjunto com as diferenças mais expressivas entre os tipos comuns de lâmpadas.

Figura 2 - Tipos de lâmpadas.



	Incandescentes	Halógenas	Fluorescentes (CFLs)	LEDs
<b>Consumo</b>	Alto	Alto	Baixo	<b>Baixíssimo</b>
<b>Vida útil (horas)</b>	1.000	2.000	6.000	<b>25.000</b>
<b>Eficiência luminosa</b>	<b>1600</b>	100 w	75 w	20 w
Quantidade de luz que a lâmpada produz por segundo, em <b>lumens.</b>	<b>1100</b>	75 w	55 w	15 w
	<b>800</b>	60 w	45 w	12 w
	<b>450</b>	40 w	30 w	8 w
	<b>210</b>	25 w	19 w	5 w

Fonte: RETECJr (2017).

Elas incluem o consumo de eletricidade, durabilidade, emissão de calor e custo econômico (REBOUÇAS et al., 2022). Para tanto, comparou-se as lâmpadas LED, fluorescentes e incandescentes para destacar os benefícios e custos de cada uma (VIEIRA FILHO, 2015). Além disso, destaca-se os métodos adicionais de eficiência energética, como a substituição de equipamentos obsoletos por modelos mais eficientes (SILVA; SHAYANI; OLIVEIRA, 2018).

São medidas que têm corroborado diretamente com a economia de energia em diversas residências, indústrias e estabelecimentos comerciais de diferentes portes e especificidades (BOQUIMPANI et al., 2019). Como demonstra a Figura 3, as lâmpadas de LED têm uma vantagem maior sobre outros tipos de lâmpadas, pois emitem menos calor; têm maior fluxo luminoso; não emitem UV e IR; têm a mesma base/conector; economizam até 80% menos consumo de energia; mais durável; mais fácil de descartar e reciclar, pois não contém chumbo nem mercúrio (PASSINI et al., 2021).

Além dessas medidas, a literatura tem chamado a atenção para a importância de se adotar uma medida voltada ao aumento da eficiência energética em edificações residenciais, comerciais e industriais. Trata-se da utilização das placas fotovoltaicas.

## 2.4 Os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são uma agenda global que visa enfrentar os desafios mais prementes do mundo em termos de desenvolvimento sustentável. Com 17 objetivos e 169 metas, os ODS foram desenvolvidos pelas Nações Unidas em 2015 como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, buscando abordar questões sociais, econômicas e ambientais de forma integrada e equilibrada.

Os ODS são fundamentais para a promoção de um desenvolvimento sustentável inclusivo, resiliente e equitativo, abrangendo temas como a erradicação da pobreza, saúde, educação, igualdade de gênero, energia limpa, água e saneamento, trabalho decente e crescimento econômico, cidades e comunidades sustentáveis, ação climática, vida submarina e terrestre, paz, justiça e parcerias para o desenvolvimento sustentável. O objetivo principal dos ODS é garantir que todas as pessoas, em todas as partes do mundo, possam desfrutar de uma vida digna e próspera, sem comprometer o meio ambiente. Para isso, é necessário um esforço colaborativo global e uma forte liderança política para transformar a visão dos ODS em ações tangíveis e medidas concretas.

Segundo o Relatório de Acompanhamento dos ODS 2020, apesar dos progressos significativos em algumas áreas, ainda há muitos desafios a serem enfrentados para alcançar os ODS até 2030. Por exemplo, a pobreza extrema tem diminuído, mas ainda afeta cerca de 8% da população mundial. Da mesma forma, a mortalidade infantil e materna diminuiu, mas ainda há disparidades significativas entre países e regiões. Além disso, as mudanças climáticas continuam a representar uma ameaça crescente para a saúde humana, a biodiversidade e os ecossistemas.

Para enfrentar esses desafios, é essencial que os governos, a sociedade civil, o setor privado e outras partes interessadas trabalhem em conjunto para alcançar os ODS. Isso requer a criação de políticas públicas, investimentos e parcerias que abordem as causas fundamentais dos problemas sociais, econômicos e ambientais, bem como a promoção da inovação e tecnologia para soluções sustentáveis.

De acordo com o relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a implementação dos ODS requer uma mudança de paradigma em relação ao desenvolvimento econômico, que deve se basear em uma visão de

longo prazo e equilibrada do desenvolvimento humano e ambiental. Isso significa que é necessário adotar novas formas de pensar, planejar e agir que levem em consideração a sustentabilidade em todas as esferas da vida.

## **2.5 Resolução normativa 482 e 687**

A Resolução Normativa 482 (RN 482) foi uma importante regulamentação estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012, que permitiu aos consumidores brasileiros gerarem sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e injetá-la na rede elétrica, por meio do sistema de compensação de energia elétrica.

A RN 482 também estabeleceu as condições para a instalação de sistemas de micro e minigeração distribuída, que são sistemas de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa, entre outras, com potência instalada de até 5 MW. Esses sistemas permitem aos consumidores gerarem energia elétrica suficiente para o seu próprio consumo e ainda injetar o excedente na rede elétrica, recebendo créditos de energia elétrica que podem ser utilizados para abater o consumo de energia elétrica da unidade consumidora nos meses subsequentes.

Em 2019, a ANEEL publicou a Resolução Normativa 687 (RN 687), que atualizou a RN 482 e estabeleceu novas regras para a micro e minigeração distribuída no Brasil. Entre as principais mudanças, destacam-se:

- A redução gradual dos subsídios para a geração distribuída, que serão extintos em 2035;
- A possibilidade de os consumidores participarem de consórcios para a instalação de sistemas de geração distribuída;
- A ampliação da potência máxima para a micro e minigeração distribuída, de 5 MW para 10 MW;
- A obrigatoriedade da contratação de seguro para os sistemas de geração distribuída com potência acima de 75 kW.

Essas mudanças foram alvo de intensos debates e críticas por parte dos defensores da geração distribuída, que argumentam que a redução dos subsídios pode desestimular o investimento em sistemas de geração distribuída e prejudicar a expansão do mercado de energia renovável no Brasil. Por outro lado, os defensores

da medida argumentam que a redução dos subsídios é necessária para equilibrar os custos do sistema elétrico como um todo e evitar a transferência de custos para os consumidores que não possuem sistemas de geração distribuída.

As RN 482 e a RN 687 foram importantes regulamentações que permitiram a expansão da microgeração e minigeração distribuída no Brasil e contribuíram para a democratização da energia elétrica no país. Embora a redução gradual dos subsídios seja uma medida controversa, é importante que sejam adotadas medidas para garantir a sustentabilidade financeira do sistema elétrico e a expansão da geração de energia renovável no país.

## **2.6 Irradiação solar**

O processo pelo qual a energia do sol é transmitida pelo espaço em forma de ondas eletromagnéticas é chamado de irradiação solar. Essas ondas podem ser divididas em diferentes comprimentos de onda, o que dá origem ao espectro solar. A energia solar é uma fonte limpa e renovável de energia que tem sido utilizada para produzir eletricidade, aquecimento e iluminação. Diversos fatores podem influenciar na radiação solar, como a latitude geográfica, altitude, hora do dia, estação do ano, clima e cobertura de nuvens. A intensidade da radiação solar é medida em watts por metro quadrado ( $W/m^2$ ) e varia ao longo do dia e do ano. Por exemplo, em um dia ensolarado de verão, a intensidade da radiação solar pode chegar a mais de 1000  $W/m^2$ , enquanto em um dia nublado de inverno, a intensidade pode ser de apenas alguns 100  $W/m^2$ .

Esta radiação pode ser aproveitada por meio de tecnologias como células solares, coletores solares térmicos e sistemas de aquecimento solar de água. Essas tecnologias convertem a energia solar em eletricidade ou calor para uso em residências, edifícios comerciais e industriais. Além disso, a exposição à luz solar tem benefícios para a saúde humana, pois é uma fonte natural de vitamina D, importante para o desenvolvimento e manutenção de ossos e dentes saudáveis. No entanto, a exposição excessiva à radiação solar pode causar danos à pele, como queimaduras solares e câncer de pele. Portanto, é importante usar protetor solar e limitar a exposição ao sol durante os horários de maior intensidade de radiação solar.

A irradiação solar também desempenha um papel importante no clima global, pois é uma das principais fontes de energia que impulsiona o sistema climático da Terra. A quantidade e a distribuição da radiação solar afetam a temperatura da superfície terrestre e a circulação atmosférica, afetando o clima em escala global, a Figura 3, mostra a irradiação solar desde a fonte até a superfície terrestre.

Figura 3 - Irradiação solar.



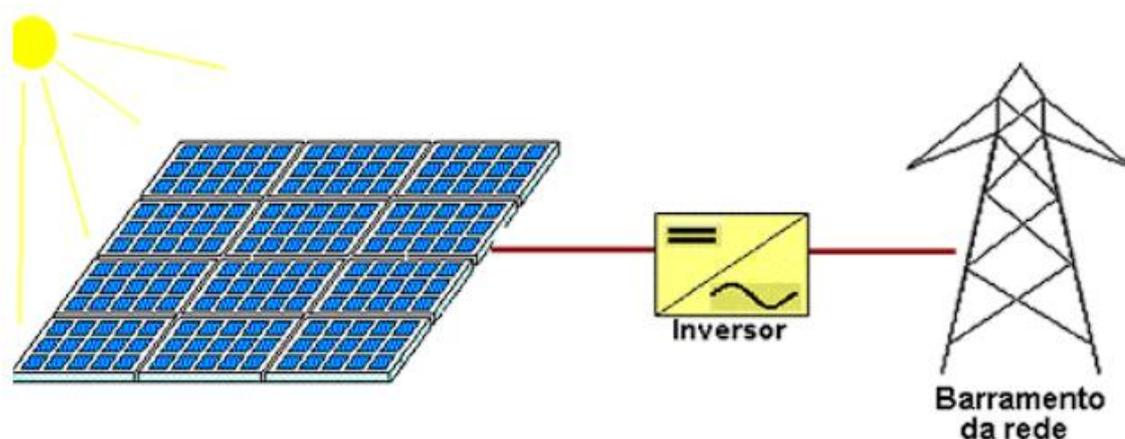
Fonte: CRESESB (2022).

## 2.7 Tipos de energia solar

A energia solar é uma das formas mais limpas e renováveis de gerar eletricidade e calor. Ela é obtida através da conversão da luz solar em energia elétrica ou térmica por meio de dispositivos como painéis solares e coletores solares. Existem dois principais tipos de energia solar: a energia solar fotovoltaica e a energia solar térmica. A energia solar fotovoltaica é produzida pela conversão direta da luz do sol em eletricidade, utilizando células fotovoltaicas que são capazes de gerar uma corrente elétrica quando expostas à luz solar. Essas células são compostas de

materiais semicondutores como o silício, que absorvem a energia da luz solar e a transformam em eletricidade. A energia elétrica produzida pelas células fotovoltaicas pode ser utilizada diretamente, através de sistemas conectados On-Grid, conforme Figura 4.

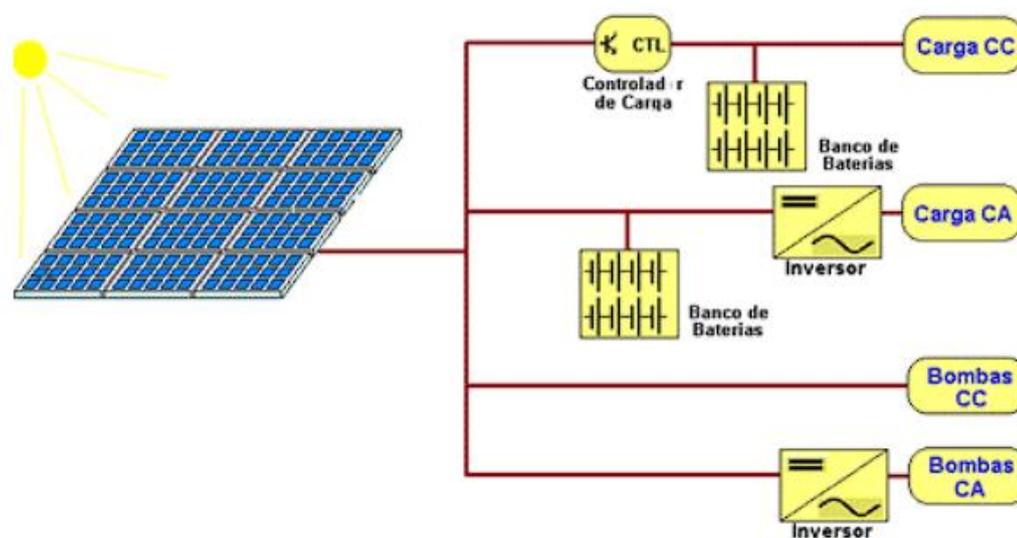
Figura 4 - Sistema conectado à rede elétrica (On -Grid).



Fonte: CEPEL (2022).

Ou armazenada em baterias para uso posterior através de sistemas desconectados Off-Grid, conforme Figura 5.

Figura 5 - Sistema desconectado da rede (Off-Grid).



Fonte: CEPEL (2022).

Já a energia solar térmica é gerada pelo aquecimento da água ou do ar através da radiação solar. Esse tipo de energia pode ser utilizado para aquecer a água de chuveiros, piscinas e aquecedores de ambiente. Os coletores solares são os dispositivos utilizados para captar a energia solar térmica e transformá-la em calor. Eles são compostos de tubos ou placas que absorvem a luz do sol e a convertem em calor que é transferido para a água ou ar circulante.

Além desses dois tipos principais, existem outras formas de energia solar em desenvolvimento, como a energia solar concentrada e a energia solar flutuante. A energia solar concentrada utiliza espelhos para refletir e concentrar a luz solar em um ponto, onde é gerado calor para produzir eletricidade. Já a energia solar flutuante utiliza painéis solares flutuantes instalados em rios, lagos e oceanos para gerar eletricidade a partir da luz do sol refletida na superfície da água.

Os benefícios da energia solar são muitos, incluindo a redução da emissão de gases de efeito estufa, a diversificação da matriz energética, a independência energética e a redução da conta de luz. Além disso, a energia solar é uma fonte de energia limpa, segura e sustentável que pode ser utilizada em todo o mundo para atender às necessidades crescentes de energia da população.

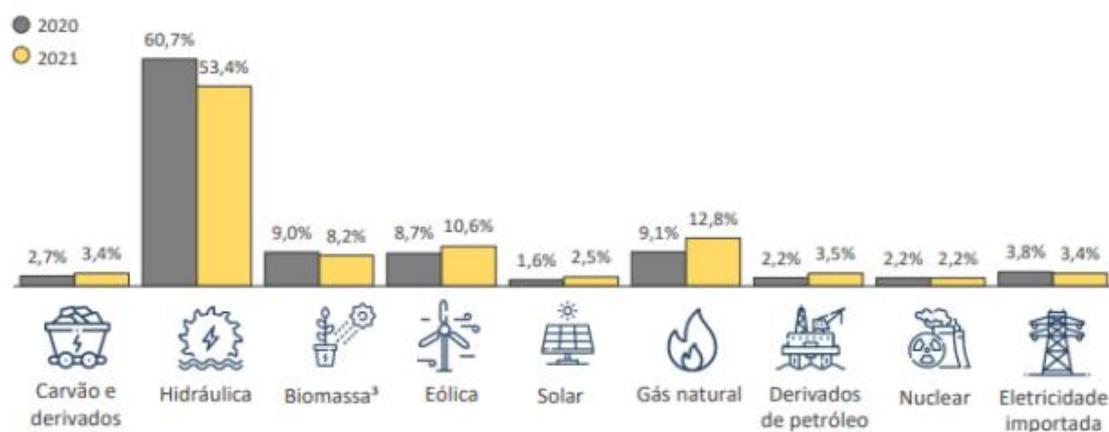
## **2.8 A importância da utilização de meios alternativos para a geração de energia elétrica**

O consumo de eletricidade continua a aumentar em todo o mundo. Essa tendência se deve ao desenvolvimento contínuo da sociedade como um todo (MELIN; CAMIOTO, 2019). Entre 2000 e 2019, o uso de eletricidade no Brasil cresceu a uma média anual de 2,8%. Isso indica que o aumento da demanda elétrica se deve a preocupações com a segurança energética (GUIMARÃES, 2016). Além disso, tem sido cada vez mais necessário investir em mais capacidade elétrica – o que pode ser alcançado com investimentos adicionais em eficiência energética (MELIN; CAMIOTO, 2019).

O Brasil possui algumas fontes principais de energia em sua Matriz Elétrica. São elas: carvão, petróleo e gás natural. A produção de eletricidade utilizou esses recursos até o final do século XX (DIDONÉ; WAGNER; PEREIRA, 2014). No entanto, eles são recursos limitados e poluidores que estão acabando. Além disso, seu efeito

sobre o meio ambiente é preocupante (GRANJA, 2018). Este cenário é apresentado pela Figura 6.

Figura 6 - Panorama da matriz energética no Brasil.



Fonte: Rebouças et al (2022).

O Brasil possui uma capacidade significativa de produção de energia devido à presença de várias regiões com altas velocidades de vento e significativa irradiação solar (DASSI et al., 2015). Isso permite que o país produza mais eletricidade do que qualquer outra fonte (POSSETI, 2019). Além disso, as hidrelétricas que utilizam energia hidráulica são as que mais se destacam quando comparadas a outras fontes de energia (RABUSKE et al., 2018). Isso pode ser visto na Figura 7. Estima-se que 84% da eletricidade do Brasil virá de fontes renováveis até 2023.

O Brasil tem uma enorme reserva de água doce; contém mais do que qualquer outro país do planeta (REBOUÇAS et al., 2022). Os reservatórios do país contêm 6.950 quilômetros de pés cúbicos de água, ou 12% do volume total de água da Terra (LAZAROIU et al., 2015). Adicionalmente, o Brasil possui uma reserva significativa de biomassa; inclui-se os materiais agrícolas e relacionados ao transporte (LI; LIU; TANG, 2011). Todas essas informações indicam que o Brasil tem potencial para aproveitar fontes renováveis de energia (CORTEZ, 2013).

Todavia, é necessária uma melhor gestão dos recursos hídricos, uma vez que a água é a maior fonte de energia do mundo em água doce (PEREIRA, 2019). No entanto, muitos países acabaram importando eletricidade do Paraguai, Argentina e Uruguai devido ao grande volume de hidrelétricas em todo o mundo (ALVES, 2019). Essas usinas se utilizam de um processo denominado de hidráulica para transformar

energia mecânica em energia elétrica (SILVA; CARMO, 2017). Para tanto, são utilizadas turbinas horizontais e verticais que movimentam engrenagens que geram energia elétrica.

Cada usina hidrelétrica do planeta é responsável por 17% da produção mundial de eletricidade (BLASZCZAK, 2017). A energia elétrica é produzida em duas etapas (SILVA; SHAYANI; OLIVEIRA, 2018). Primeiro, as turbinas da usina convertem a energia hidráulica da usina em energia mecânica rotacional (DOMINGOS, 2020). Em seguida, a energia mecânica é transformada em energia elétrica por meio dos processos de transmissão e distribuição da rede elétrica (VIEIRA FILHO, 2015). Esses processos são o motivo pelo qual toda a corrente e tensão produzidas por essas usinas devem passar por canais adicionais antes de chegar ao usuário final (MARQUES, 2019). Assim, pode-se descrever essa conversão de energia hidráulica como "em outras palavras", referindo-se à sua interpretação literal do processo (MONTAÑEZ, 2020).

Diante disso, observa-se a necessidade de se defender uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e o papel das usinas hidrelétricas na produção de energia elétrica a nível global. No entanto, a análise poderia beneficiar-se de uma abordagem mais crítica e reflexiva, considerando também os desafios e impactos ambientais associados à geração de energia hidrelétrica. Por exemplo, a construção de usinas hidrelétricas frequentemente implica em alterações significativas no ecossistema local, como a formação de reservatórios e a inundação de áreas naturais, afetando tanto a flora quanto a fauna.

Além disso, a realocação de comunidades humanas e o impacto sociocultural também são questões relevantes que merecem atenção no contexto da geração de energia hidrelétrica. Outra perspectiva a ser considerada é a crescente necessidade de diversificar as fontes de energia e buscar alternativas sustentáveis, como a energia solar e eólica, que apresentam menor impacto ambiental. Nesse sentido, seria interessante explorar como os avanços tecnológicos e a inovação podem contribuir para a integração de diferentes fontes de energia, garantindo uma matriz energética mais sustentável e resiliente.

Nessa perspectiva, a discussão sobre a geração de energia hidrelétrica e a gestão dos recursos hídricos é crucial, mas deve ser abordada de maneira crítica e reflexiva, levando em consideração os impactos ambientais, sociais e a importância

de diversificar as fontes de energia para garantir um futuro sustentável. Todavia, sabe-se que as usinas PCH precisam de pelo menos uma área de reservatório de 300 acres; isso limita suas áreas operacionais apenas a sistemas a fio d'água (BUENO et al., 2018). A geração de energia por meio de usinas hidrelétricas é uma boa opção quando se considera o custo da energia e a acessibilidade dos recursos hídricos (BORGES et al., 2016).

Além disso, tem a vantagem de ser renovável, emitir menos gases de efeito estufa e ter um efeito positivo na economia local (ALMEIDA et al., 2015). No entanto, a escolha dessa opção envolve a necessidade de considerar outros fatores. Um deles são os efeitos sociais das hidrelétricas; por exemplo, como afeta as linhas de transmissão e como impacta nas perdas de transmissão (SIQUEIRA, 2021). Fatores que devem ser considerados na avaliação da importância de um determinado tema incluem a baixa remuneração paga pelos empregadores, deslocamento forçado da população, êxodo rural, aumento das periferias para cidades maiores, aumento do desemprego após o término do trabalho e perda de referências culturais para a vida social (ZURN et al., 2017).

Ademais, a inundação de terras indígenas também é uma questão que deve ser considerada (VILAÇA GOMES et al., 2018). Dessa forma, pontua-se que as fontes renováveis de energia precisam ser mais investigadas, sobretudo os reais benefícios relacionados a utilização de placas fotovoltaicas em edificações residenciais e comerciais (VALE et al., 2017). Entretanto, os atuais investimentos em fontes alternativas de energia elétrica não são suficientes e não atendem à importância da expansão da matriz elétrica (TUBELO et al., 2018).

Consequentemente, a eficiência energética deve ser considerada uma questão ainda mais significativa do que simplesmente investir em fontes alternativas de energia (TRUONG; GARVIE, 2017). Levando em consideração esses pontos levantados, há que se frisar que há diversos aspectos positivos e negativos relacionados à energia hidrelétrica e sugere a necessidade de investigar outras fontes renováveis de energia, como a energia solar fotovoltaica. Contudo, para uma análise crítica e reflexiva, é importante examinar ainda mais profundamente as implicações dessas fontes de energia e o papel das políticas públicas e dos investimentos em energia limpa.

Embora a energia hidrelétrica seja uma fonte renovável e tenha menor emissão de gases de efeito estufa, é essencial considerar os impactos sociais e ambientais mencionados no trecho, como a inundação de terras indígenas e a perda de referências culturais. Esses efeitos podem ser agravados pela falta de planejamento e transparência na implementação de projetos hidrelétricos. Além disso, é preciso questionar se os benefícios econômicos locais mencionados compensam os custos ambientais e sociais decorrentes da construção de hidrelétricas. Essa ponderação é fundamental para avaliar a viabilidade e a sustentabilidade de tais projetos.

Por outro lado, no que diz respeito à expansão da matriz elétrica, é crucial analisar se os investimentos em fontes alternativas de energia estão sendo realizados de forma adequada e equitativa. Políticas públicas e incentivos governamentais têm um papel importante nesse contexto, promovendo a inovação e a adoção de tecnologias limpas e sustentáveis. Dessa maneira, a eficiência energética também é um aspecto fundamental a ser considerado, conforme apontado no trecho. No entanto, é importante enfatizar que investir em fontes alternativas de energia e promover a eficiência energética não são ações mutuamente excludentes.

Nessa perspectiva, pontua-se que ambas são estratégias complementares que, em conjunto, podem corroborar com o fomento a um futuro energético mais sustentável e resiliente. Diante de tais fatos, reforça-se a importância de considerar todos os aspectos positivos e negativos das fontes de energia, assim como a necessidade de políticas públicas e investimentos adequados para garantir uma matriz energética diversificada e sustentável.

## **2.9 Aspectos gerais relacionados ao aumento da eficiência energética**

O programa PROCEL foi criado em dezembro de 1985. Seu objetivo é economizar energia e reduzir o desperdício, incentivando as pessoas a usá-la de forma mais eficiente (ALMEIDA; FERREIRA, 2018). É administrado pelo Ministério de Minas e Energia, que faz parte da organização Eletrobrás. O selo Procel, ou Selo Procel de Economia de Energia, foi criado em dezembro de 1993 (REBOUÇAS et al., 2022). A Lei de Eficiência Energética Nº 10.295, de 18 de outubro de 2001, determina que o governo nacional crie uma política de conservação e uso de energia (PASSOS et al., 2017).

Essa lei também destaca a necessidade de conservar os recursos e o meio ambiente por meio do uso eficiente da energia (TORRE; ALVES; CORRÊA, 2018). Uma ferramenta que cumpre esse objetivo é o PROCEL INFO 2022. Ele permite que o consumidor conheça com mais eficiência os equipamentos e eletrodomésticos disponíveis no mercado que consomem menos energia (ROSA et al., 2022). A República brasileira exige que o Poder Executivo estabeleça o consumo máximo de energia e a eficiência energética mínima das máquinas e aparelhos comercializados no país (BLASZCZAK, 2017).

Isso se deve a indicadores técnicos específicos listados no Art. 2º, que também determina a criação de um Programa de Metas a ser seguido por fabricantes e consumidores (BOQUIMPANI et al., 2019). Esse programa reforça a necessidade de o Poder Executivo promover a eficiência energética nas novas edificações construídas no Brasil (CINTRA JÚNIOR; SOUZA, 2018). Muitos aparelhos elétricos vêm com suas próprias classificações de energia. Aponta-se com isso a quantidade de energia que utilizam para desempenhar diversas atividades (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

Dispositivos eletrônicos como televisores, geladeiras e computadores têm classificações de energia. Decidir sobre o eletrodoméstico mais eficiente pode ajudar as pessoas a economizar eletricidade e dinheiro (CORREA, 2021). Existem muitas marcas diferentes disponíveis para cada categoria de equipamento isso significa que comparar as classificações de potência pode ser muito útil (GUIMARÃES, 2021). Os consumidores também podem olhar para cada grupo de equipamentos e ver quanto eles usam a cada mês (NASCIMENTO NETO, 2019).

Tendo em vista o programa PROCEL e a Lei de Eficiência Energética, algumas considerações podem ser feitas. Em ambas, destaca-se a importância de promover o uso consciente e eficiente da energia no Brasil. Entretanto, uma análise crítica e reflexiva pode abordar aspectos adicionais que ampliam o entendimento do tema e os desafios enfrentados. Uma questão importante a se considerar é a efetividade do programa PROCEL e da legislação vigente na promoção da eficiência energética. Seria interessante analisar se as metas estabelecidas e os incentivos oferecidos são suficientes para estimular a inovação e a adoção de tecnologias mais eficientes por parte de fabricantes e consumidores.

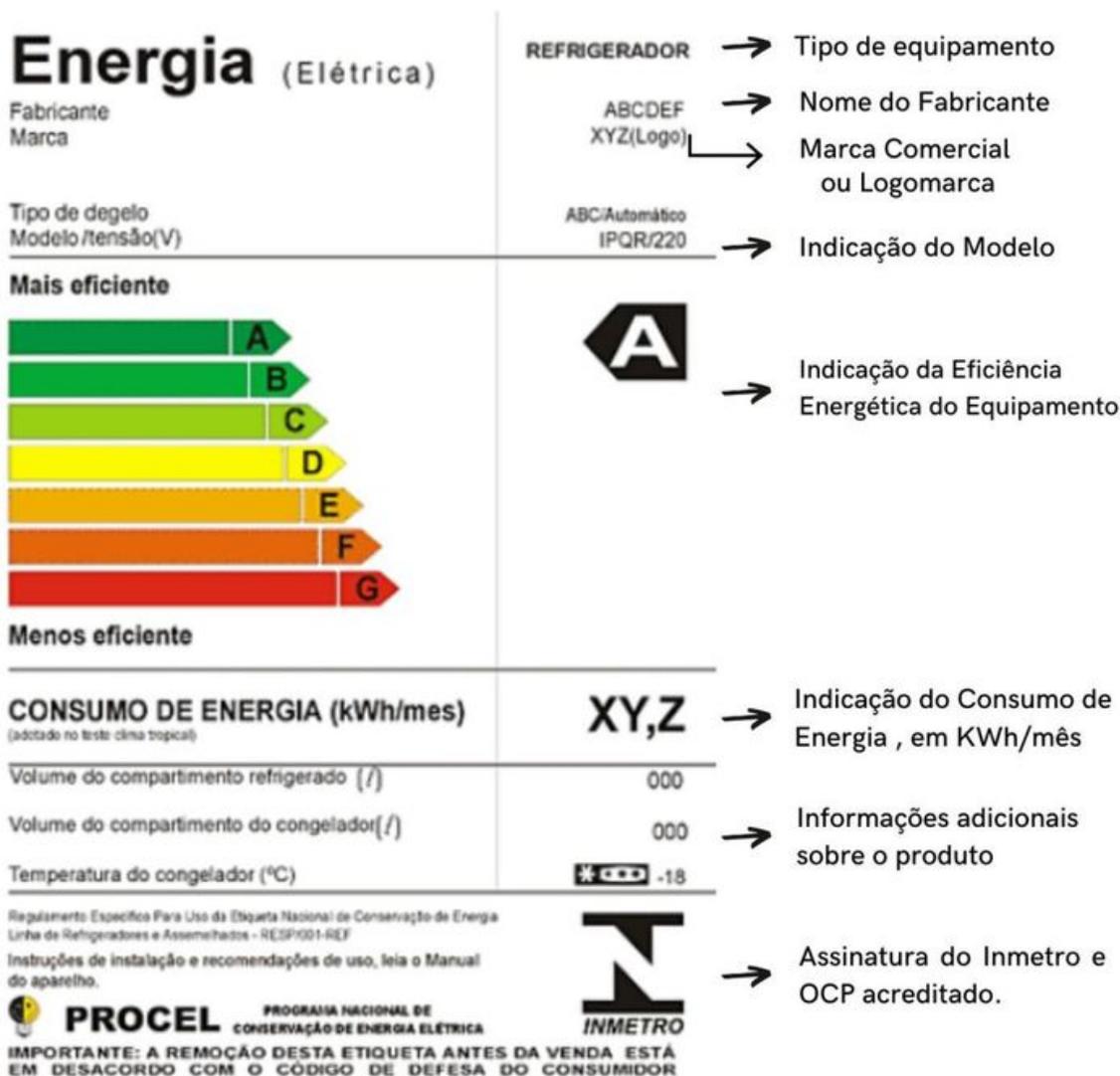
Além disso, é fundamental avaliar se as ações do governo e da Eletrobrás têm sido eficazes na fiscalização e na aplicação das normas e regulamentações. Outro

aspecto a ser ponderado é a acessibilidade dos equipamentos e eletrodomésticos com maior eficiência energética. Em muitos casos, esses produtos têm custos mais elevados, o que pode dificultar sua aquisição por parte de consumidores com menor poder aquisitivo. Portanto, é necessário refletir sobre estratégias que possam tornar esses produtos mais acessíveis e incentivar a adoção em larga escala. A educação e a conscientização dos consumidores também são pontos cruciais.

Ademais, é preciso comparar classificações de energia ao escolher eletrodomésticos, mas seria útil discutir também como garantir que as informações sejam facilmente compreensíveis e acessíveis para a população. Campanhas de educação e informação podem ser fundamentais para aumentar a conscientização sobre a eficiência energética e encorajar práticas sustentáveis. Nessa perspectiva, destaca-se a importância de se pensar na efetividade das políticas públicas, na acessibilidade dos equipamentos eficientes, bem como na educação e conscientização dos consumidores como elementos-chave para alcançar uma maior eficiência energética e sustentabilidade no país.

Também há que se mencionar o INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, que certifica cada peça manufaturada enviada a seus laboratórios (DOMINGOS, 2020). Após diversos testes e categorizações, os produtos recebem rótulos com letras que representam seu nível de eficiência energética (SANTOS JUNIOR et al., 2015). Esses rótulos são aplicados no produto final ou na embalagem. Conforme reitera a Figura 7, a letra A é o rótulo mais eficiente enquanto o G é o menos eficiente (PAVANI, 2021):

Figura 7 - Apresentação da etiqueta de eficiência energética.



Fonte: Rebouças et al (2022).

A etiqueta da Figura 7, fornece ao consumidor informações sobre a eficiência energética do equipamento (REBOUÇAS et al., 2022). Ao usar essa etiqueta, o consumidor pode determinar qual equipamento comprar com base na eficiência energética (DOMINGOS, 2020). Ao adquirir equipamentos, os consumidores podem aproveitar os benefícios do selo – incluindo incentivos, vantagens competitivas, maior produtividade e melhor qualidade do produto (CORREA, 2021).

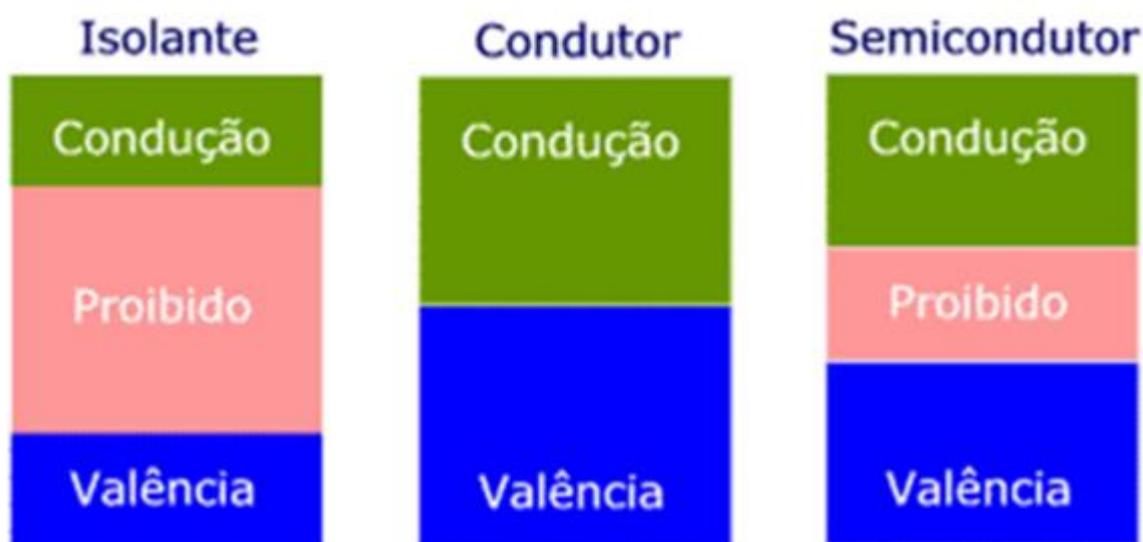
Outros benefícios incluem custos mais baixos, redução do desperdício de energia e maior qualidade do produto (SILVÉRIO, 2021).

## 2.10 Os principais efeitos fotovoltaicos

Os materiais fotovoltaicos são designados desta forma por gerarem eletricidade em resposta à luz solar (TRUONG; GARVIE, 2017). Eles são tipicamente semicondutores ou elementos que possuem resistência insignificante ao fluxo de eletricidade (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2018). De acordo com as bandas de valência, ou zonas onde os elétrons estão presentes, os elétrons se movem da banda de condução para a zona intermediária entre as bandas de condução e de valência (SILVERO et al., 2019).

O gap elétrico é a dimensão dessa zona intermediária que define se um material é um semicondutor (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015). No entanto, oito materiais caem em uma banda proibida devido à lacuna de energia entre está e a faixa de luz visível dos fótons de energia mais baixa (SOLANGI et al., 2011). Com essas oito exceções, todos os outros materiais são isolantes e absorvem energia luminosa para produzir eletricidade (TOKARIK; RICHMAN, 2016). A Figura 8 apresenta as propriedades de cada material:

Figura 8 - Principais faixas de energia.

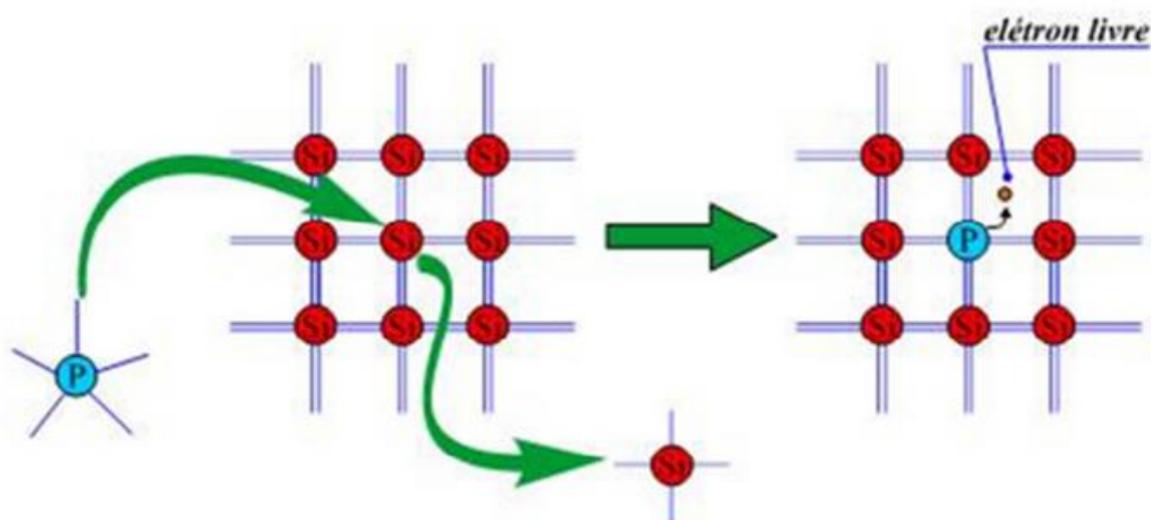


Fonte: Cintra Júnior (2018).

Entre os semicondutores, o silício é o mais comumente aplicado em elementos fotovoltaicos (SAGBANSUA; BALO, 2017). Seus átomos possuem quatro elétrons que

se combinam com os elétrons vizinhos, formando, dessa forma, uma rede cristalina (RÜTHER; ZILLES, 2011). Caso seja adicionado um átomo com cinco elétrons ligantes, como o fósforo (P), a rede terá mais um elétron (OLIVA, 2017). Forma-se, portanto, uma ligação sensível com o átomo, tal que uma pequena quantidade de energia pode ser movida para a área de condução (RODRIGUEZ-UBINAS et al., 2014), conforme mostrado na Figura 9. O fósforo é, portanto, conhecido como um dopante doador de elétrons, bem como um dopante de P ou impureza de P (NIEMELÄ; KOSONEN; JOKISALO, 2017):

Figura 9 - Formação de uma estrutura cristalina do silício após a inserção de fósforo.



Fonte: Cintra Júnior (2018).

Se um átomo com três elétrons ligantes, como o boro, for adicionado à mesma rede, pode-se observar uma falta de elétrons para satisfazer a ligação com os átomos que compõem a rede (MONTENEGRO, 2013). Essa lacuna é chamada de buraco ou lacuna, e os elétrons de locais próximos podem se mover para locais desocupados em quantidades relativamente pequenas, causando uma mudança na localização da lacuna (MORAN; GOGGINS; HAJDUKIEWICZ, 2017).

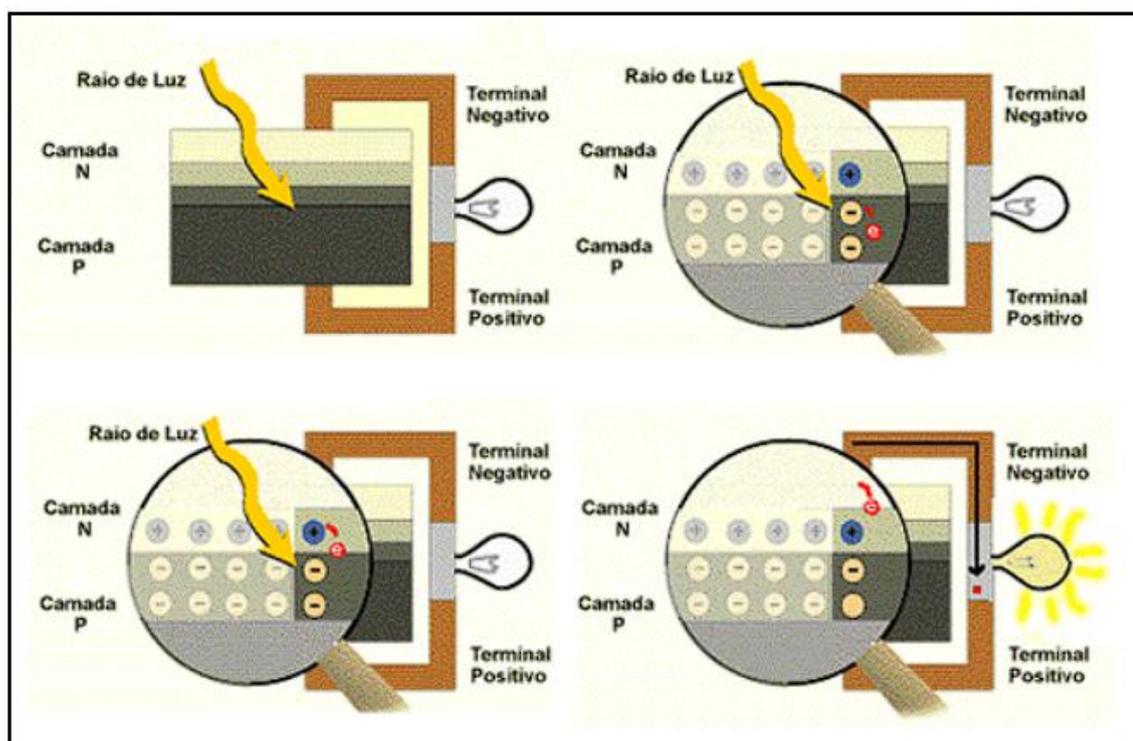
O boro é, portanto, conhecido como um dopante aceitador de elétrons, bem como um dopante B ou impureza B (MITSCHER; RÜTHER, 2012). Se for utilizado silício puro e adicionados os átomos de boro e outros átomos de fósforo de um lado, obtém-se o que é chamado de junção PB (LIANG; KRÜGER, 2017). O interessante

dessa junção é que os elétrons livres cruzam do lado P para o lado B, onde há uma lacuna para acomodá-los (LACCHINI; RÜTHER, 2015).

Há um excesso de elétrons na face do boro, que é carregada negativamente, enquanto os elétrons da face B são significativamente reduzidos na face do fósforo, deixando o -o carregado positivamente (KRARTI; DUBEY, 2018). A carga aprisionada inicia um campo elétrico que impede a transferência de elétrons do lado N para o lado P, atingindo o equilíbrio quando cria uma barreira que impede a passagem dos átomos livres remanescentes na face do fósforo (KRARTI; DUBEY; HOWARTH, 2017).

Se a junção PB for afetada por fótons com energia maior que a zona proibida, causará a geração de pares de lacunas (KAYNAKLI et al., 2012). Se esse fenômeno ocorrer em um local onde o campo elétrico não seja zero, as partículas serão aceleradas, gerando uma corrente na junção PN como mostra Figura 10, de um lado para o outro (KARÁSEK et al., 2018). Por um lado, esse movimento de carga induz uma diferença de potencial, conhecida como efeito fotoelétrico (JONES et al., 2017).

Figura 10 - Efeito fotovoltaico na junção PN.



Fonte: CEPEL (2022).

Ademais, se forem conectadas as duas extremidades de um elemento de silício com um fio, cria-se um ciclo de elétrons, que é a base de uma célula fotovoltaica. Percebe-se que a eficiência das células fotovoltaicas depende da qualidade do material semicondutor e da eficácia das técnicas de dopagem. A otimização da dopagem e o desenvolvimento de materiais semicondutores mais avançados são áreas de pesquisa em andamento que visam melhorar a eficiência e o desempenho das células fotovoltaicas.

Além disso, a durabilidade e a degradação das células fotovoltaicas são questões críticas que afetam o desempenho a longo prazo desses dispositivos. A exposição à radiação solar, variações de temperatura e umidade podem levar à degradação do material semicondutor e à redução da eficiência das células fotovoltaicas ao longo do tempo. Pesquisas contínuas são necessárias para desenvolver materiais e técnicas de fabricação que possam aumentar a durabilidade e a resistência das células fotovoltaicas a esses fatores ambientais.

Outro aspecto importante a ser considerado é o impacto ambiental associado à extração e processamento de materiais, como o silício, boro e fósforo, usados na fabricação de células fotovoltaicas. É crucial adotar práticas sustentáveis e responsáveis ao longo de toda a cadeia de suprimentos para garantir que a produção de células fotovoltaicas contribua para um futuro energético mais limpo e sustentável. Ademais, é importante destacar que a conversão de energia solar em eletricidade é apenas uma parte do desafio na transição para um futuro energético mais sustentável.

A integração eficiente das células fotovoltaicas na infraestrutura energética existente, o desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia eficientes e a promoção de políticas públicas e incentivos que apoiem a adoção de energia solar são aspectos cruciais para garantir o sucesso dessa transição. Diante disso, considerando o funcionamento das células fotovoltaicas, é importante também considerar os desafios práticos e as implicações mais amplas associadas a essa tecnologia no contexto de um futuro energético sustentável.

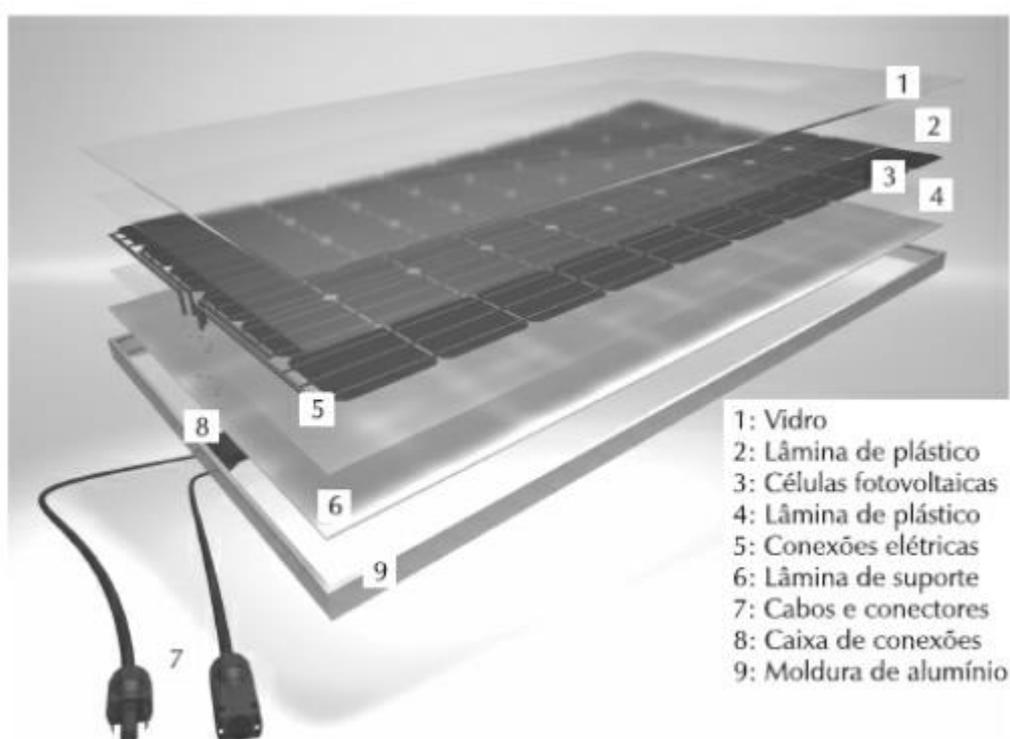
## **2.11 As células fotovoltaicas**

Antes da pesquisa sobre as células, as células fotovoltaicas tinham uma baixa eficiência, em torno de 2% (DOMINGOS, 2020). Custavam cerca de \$ 6,00 por watt,

o que era alto, considerando que tinham uma baixa eficiência (CINTRA JÚNIOR, 2018). No entanto, a pesquisa levou a células solares de maior eficiência ao longo do tempo, na Figura 11, podemos visualizar os componentes de um módulo fotovoltaico.

Diferentes tipos de semicondutores podem ser usados – o silício é o mais comum hoje – e as células podem ser formadas em diferentes estruturas como monocristal, policristalina ou silício amorfo (HOLDERMANN; KISSEL; BEIGEL, 2014). As suas principais características serão apresentadas e detalhadas a seguir.

Figura 11 - Componentes de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Gazoli, Jonas Rafael. Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e aplicações (p. 133). Editora Saraiva.

### 2.11.1 Células de silício monocristalino

A célula de energia solar mais comum é a de silício monocristalino. Esse processo começa com a remoção dos cristais de dióxido de silício do ambiente circundante (HAMILTON et al., 2016). Em seguida, os fornos desoxidam o material com 98% a 99% de pureza antes de endurecer em um sólido (FERREIRA; ALMEIDA; RODRIGUES, 2016). Assim, produz-se resultados econômicos e eficientes em termos

de energia devido à sua alta relação custo-energia (DODOO; GUSTAVSSON; TETTEY, 2017). Para alimentar uma célula fotovoltaica, o silício precisa ser altamente purificado a ponto de 99,999% de pureza (DIAS et al., 2017).

Além disso, as imperfeições do silício precisam ser reduzidas ou eliminadas para sua utilização em projetos elétricos (DE LA RUE DU CAN et al., 2014). A criação desse elemento requer seguir várias diretrizes. Primeiro, o silício deve ser produzido por meio do Processo Czochralski, que envolve a liquefação do elemento e a adição de uma pequena porcentagem de boro (DALBEM et al., 2019). Em seguida, todos os outros elementos devem ser semicondutores altamente puros; isso é necessário para que as características elétricas da célula funcionem corretamente (CHOI et al., 2018).

Um minúsculo cilindro de silício dopado com baixos níveis de material permanece sob rígidos controles de temperatura (CANDELISE; WINSKEL; GROSS, 2013). O cilindro tem grandes dimensões e um tamanho aproximado de 300 $\mu$ m. O seu uso é indicado para remover o material fundido (BRADSHAW et al., 2017). Para finalizar o procedimento de purificação, é necessário adicionar impurezas do tipo N ao silício para que ele possa formar uma junção (BAZILIAN et al., 2013). Isso é obtido colocando as peças de silício em um forno entre 800 e 1.000 graus celsius, enquanto expostas ao vapor de fósforo (AQUILA et al., 2017).

Em comparação com outras células fotovoltaicas feitas de silício, as células monocristalinas resultam na melhor eficiência com 15% de potência (ALMEIDA; FERREIRA, 2018). Existe ainda potencial para 18% de energia em células produzidas em laboratórios (ABU BAKAR et al., 2015). Considerando este processo de fabricação de células fotovoltaicas de silício monocristalino, há que se frisar a importância da pureza do material e os passos envolvidos no processo. Essas células são conhecidas por sua alta eficiência em comparação com outras células solares à base de silício. No entanto, algumas considerações adicionais devem ser feitas quanto a esta tecnologia.

Primeiramente, é importante mencionar que, embora as células de silício monocristalino sejam conhecidas por sua alta eficiência, esse processo de fabricação também pode ser mais caro e exigente em termos de energia em comparação com outras tecnologias fotovoltaicas. O Processo Czochralski como mostra a Figura 12, mencionado no texto, é um exemplo disso, pois é um método de produção mais complexo e de alto consumo energético. Nesse sentido, é crucial avaliar o custo-

benefício dessas células em relação a outras opções no mercado. Ademais, aspecto a ser considerado é a sustentabilidade ambiental do processo de produção.

Figura 12 - O minério de silício purificado, o forno de Czochralski, lingote de silício, as fatias (wafers) e a célula fotovoltaica monocristalina.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>.

A extração e a purificação do silício, bem como o consumo de energia envolvido na fabricação das células, podem ter um impacto ambiental significativo. Portanto, é importante buscar soluções mais sustentáveis na cadeia de produção e continuar a investigar alternativas mais ecológicas para a fabricação de células fotovoltaicas. Além disso, a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias fotovoltaicas estão em constante evolução.

Portanto, é importante acompanhar os avanços em materiais e métodos de produção que possam oferecer eficiências ainda maiores e menores custos. Por exemplo, células solares baseadas em perovskitas têm mostrado um rápido progresso na eficiência e podem representar uma alternativa promissora às células de silício monocristalino no futuro. Em resumo, o trecho oferece uma visão detalhada da fabricação de células fotovoltaicas de silício monocristalino e enfatiza sua alta eficiência.

No entanto, é crucial também considerar os desafios e implicações associados ao processo de produção, como custos, impacto ambiental e a necessidade de pesquisa contínua para melhorar e desenvolver novas tecnologias fotovoltaicas.

### 2.11.2 Células de silício policristalino

As células de silício policristalinos também chamadas de multicristalino conforme mostra Figura 13, têm uma eficiência menor do que as monocristalinas; no entanto, são mais baratas, o que permite acessibilidade a sua produção (CANDELISE; WINSKEL; GROSS, 2013). Isso ocorre porque o processo de fabricação não é tão estritamente controlado, quanto nas células monocristalinas (ABU BAKAR et al., 2015). A produção de uma dessas células envolve fatiar, dobrar e inserir um filme em um substrato, imergindo a fatia em vapor ou submergindo-a em óleo (BODACH; HAMHABER, 2010).

Figura 13 - O minério de silício purificado, a fundição em bloco do silício, os “tijolos de silício” cortados, as fatias (wafers) e a célula fotovoltaica policristalina.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>.

Um dos dois métodos de conversão permite a criação de silício policristalino (ROSA et al., 2022). Esses métodos produzem cristais com diferentes características, como estrutura, tamanho e teor de impurezas (DANTAS; POMPERMAYER, 2018). O método de conversão mais eficiente teoricamente produz 27% da eficiência do material original. No entanto, essa eficiência é reduzida para 15 a 18% quando se considera produtos comerciais (CORREA, 2021).

### 2.11.3 Células de silício amorfo

Em comparação com outras estruturas celulares, as células de silício amorfo têm um alto nível de estrutura atômica desordenada (REBOUÇAS et al., 2022). Isso leva a uma série de vantagens significativas para os métodos elétricos e de produção.

Isso inclui o fato de que o material pode absorver a luz visível e é produzido pelo uso de diferentes substratos (BLASZCZAK, 2017). O silício amorfo é atualmente uma tecnologia fotovoltaica promissora devido ao seu baixo custo e altas taxas de absorção (SILVÉRIO, 2021).

Uma das desvantagens de usar silício amorfo é seu alto custo de fabricação em comparação com células mono e policristalinas (CINTRA JÚNIOR; SOUZA, 2018). Além disso, as células de silício amorfo têm uma baixa eficiência de conversão quando comparadas às células mono ou policristalinas (TORRE; ALVES; CORRÊA, 2018). Isso ocorre porque têm uma vida útil curta antes de se desgastarem. Embora isso leve a uma menor eficiência durante sua vida útil, apresenta alguns benefícios que compensam essas desvantagens (SILVA et al., 2021).

Um desses benefícios é seu processo de produção de baixo custo. Também é possível fazer grandes células com esse material, o que reduz o consumo de energia na fabricação (TAKAKI; CASTRO, 2022). Conhecidas as características atreladas aos tipos de silício, a seguir, há que se caracterizar os sistemas fotovoltaicos.

#### 2.11.4 Células de filme fino

As células fotovoltaicas de filme fino são uma tecnologia importante na produção de energia solar. Elas são uma alternativa eficiente e econômica às células solares de silício tradicionais, especialmente para aplicações em larga escala, como em usinas de energia solar.

Essas células solares de filme fino são feitas de materiais semicondutores, como o telureto de cádmio, o disseleneto de cobre e índio, ou o sulfeto de cobre e índio. Estes materiais são depositados em camadas finas sobre um substrato de vidro ou plástico, formando a célula fotovoltaica.

A tecnologia de filme fino tem vantagens significativas em relação às células solares de silício. As células de filme fino são mais leves e flexíveis, o que significa que podem ser aplicadas em superfícies curvas e em lugares onde as células solares de silício não seriam práticas. Além disso, a produção de células de filme fino é mais eficiente e menos intensiva em energia do que a produção de células solares de silício. As células fotovoltaicas de filme fino são um tipo de tecnologia de células solares que são feitas de camadas finas de materiais semicondutores. Essas células solares são

frequentemente utilizadas em aplicações onde o peso e a flexibilidade são importantes, como em painéis solares portáteis, telhados solares e até mesmo em roupas solares.

Outra vantagem das células fotovoltaicas de filme fino é a sua capacidade de operar sob condições de baixa luminosidade. Isso significa que eles são mais eficazes do que as células solares de silício em áreas que recebem pouca luz solar.

Apesar dessas vantagens, as células fotovoltaicas de filme fino ainda enfrentam desafios na produção de energia solar devido a sua baixa eficiência e necessitam de maior área de módulos para produzir a mesma energia que produzem as tecnologias cristalinas.

#### 2.11.5 Comparação das diferentes tecnologias

Existem várias tecnologias de células fotovoltaicas disponíveis, cada uma com características diferentes em termos de eficiência, custo, durabilidade e outros fatores. A Figura 14, mostra uma comparação das eficiências das diferentes tecnologias de células fotovoltaicas, tanto nas experiências em laboratório como em produtos já disponíveis comercialmente.

Figura 14 - Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas.

Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula em laboratório	Eficiência da célula comercial	Eficiência dos módulos comerciais
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício cristalino de filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício micromorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telureto de cádmio	16,4%	10%	9%

*Dados: Fraunhofer ISE, Universidade de Stuttgart, 26th IEEE PVSC, NREL, UNSW, folhas de dados de vários fabricantes. Adaptada de "Energia fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação", Portugal, 2004.*

Fonte: Gazoli, Jonas Rafael. Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e aplicações (p. 130). Editora Saraiva.

## 2.12 Características de um sistema fotovoltaico

Os métodos convencionais de produção de eletricidade colocam a produção de energia longe do ponto de consumo (DOMINGOS, 2020). Isso leva a perda de energia ao longo do sistema de distribuição e custos mais altos para os consumidores (GUIMARÃES, 2021). Além disso, a produção de energia leva a danos ambientais, problemas financeiros e falhas do sistema devido à perda de dados (PASSOS et al., 2017).

Os sistemas fotovoltaicos se conectam diretamente à rede elétrica. Isso permite que se utilizem de muitas tecnologias diferentes e produzam mais energia do que os sistemas tradicionais – resolvendo totalmente os problemas dos sistemas convencionais (NASCIMENTO NETO, 2019). Inicialmente, apenas grandes usinas fotovoltaicas foram consideradas práticas com essa ideia. Todavia, hoje, os sistemas domésticos respondem por mais da metade do mercado fotovoltaico (BOQUIMPANI et al., 2019).

Sistemas de pequeno e médio porte são projetados para atender a esses sistemas; eles compõem uma grande parte do mercado elétrico atual (ABRAHÃO; SOUZA, 2021). Muitos países, como Japão, Alemanha, Espanha e Estados Unidos, consideraram a opção de usar pequenas quantidades de eletricidade de fontes limpas (CINTRA JÚNIOR, 2018). Além disso, vários outros países incluíram essa opção em seus planos. Isso inclui o Brasil e outros países desenvolvidos (OLIVEIRA; MARIO; PACHECO, 2021).

À medida que a eletrônica melhora, mais sistemas integrados à rede são criados; estes são chamados ON GRID ou GRID-TIE (SANTOS, 2020). Os sistemas OFF-GRID armazenam toda a energia que produzem em baterias (SIQUEIRA, 2021). Eles operam de maneira diferente dos sistemas ON-GRID: em vez de usar painéis fotovoltaicos para capturar a luz solar, utilizam-se de baterias para armazenar energia (PAVANI, 2021). Quando a incidência solar é baixa, esses sistemas ainda podem funcionar graças ao seu banco de baterias.

A partir daí, eles carregam através de um controlador usando corrente contínua (BONDARIK et al., 2018). Chamado de controlador de carga, esse dispositivo evita sobrecarga ou descarga profunda das baterias (OLIVEIRA, 2019). Depois disso, a energia é transferida por meio de um inversor de frequência, que a transforma de

corrente contínua em corrente alternada antes de ser utilizada para consumo (SILVA; ARAÚJO, 2022). Quando conectados a um inversor on-grid ou grid-tie, os painéis fotovoltaicos criam corrente alternada e a sincronizam com os 60 Hz da rede elétrica (TAVARES; SOUSA, 2019).

Isso permite uma fonte de energia mais limpa e eficiente que não produz uma tensão tão alta. Alternativamente, pode-se armazenar a energia excedente gerada no sistema, inserindo relógios de luz bidirecionais na rede elétrica das concessionárias (WATANABE, 2019). Os painéis fotovoltaicos podem ser conectados a qualquer edifício – não importa a orientação que esteja – mas apenas se estiver bem posicionado para exposição à luz solar (GALVÃO; BERMAN, 2015). Estes incluem painéis voltados para o sul ou painéis voltados para o leste ou oeste.

O sistema fotovoltaico tem um potencial incrível de uso na hora de criar a aparência de uma edificação (CASTROM, 2015). Também pode ser utilizado em qualquer tipo de edificação, incluindo estruturas comerciais e residenciais (GUTIERRES et al., 2021). Os usos potenciais dessa tecnologia vão além de apenas fachadas domésticas – pode até ser incorporada a prédios comerciais (ANDRADE; SANTOS, 2018). Dessa forma, considerando a crescente popularidade e aplicabilidade dos sistemas fotovoltaicos, destacando a capacidade de reduzir perdas de energia, custos e impactos ambientais associados aos métodos convencionais de geração de energia.

Além disso, há que se reiterar a flexibilidade dos sistemas fotovoltaicos em atender a diferentes necessidades, como instalações de pequeno e médio porte e aplicações em residências e edifícios comerciais. No entanto, é importante lembrar que a adoção em larga escala de sistemas fotovoltaicos também enfrenta desafios. A dependência da incidência solar para a produção de energia pode limitar sua eficácia em regiões com menor insolação ou em períodos de baixa luz solar. A eficiência dos painéis fotovoltaicos também pode ser afetada por fatores como poeira e sujeira, bem como degradação ao longo do tempo, exigindo manutenção e limpeza periódica.

Além disso, os custos iniciais e de instalação dos sistemas fotovoltaicos ainda podem ser consideráveis, embora estejam reduzindo com o avanço gradativo, porém expressivo, das tecnologias. Políticas públicas e incentivos financeiros são cruciais para promover a adoção desses sistemas em larga escala, especialmente em áreas onde a eletricidade gerada por fontes renováveis ainda não é competitiva em termos

de custo. Dessa maneira, não se pode ignorar que os sistemas fotovoltaicos apresentam um enorme potencial para revolucionar a geração e distribuição de energia, mas também enfrentam desafios significativos.

Para maximizar o impacto dessa tecnologia, é importante abordar esses desafios e continuar a promover a inovação, bem como políticas públicas que incentivem sua adoção e desenvolvimento. Contextualizado o modus operandi dos sistemas fotovoltaicos, há que se apresentar algumas de suas principais vantagens e desvantagens.

### **2.13 Vantagens e desvantagens relacionadas à utilização de sistemas fotovoltaicos**

Dispor de luz solar livre é uma vantagem perante os outros sistemas. Este é o fator mais significativo na escolha de um sistema de energia fotovoltaica (MONTEIRO, 2015). Isso porque a luz solar é um recurso abundante no planeta, totalmente gratuito para uso de todos os habitantes (NOGUEIRA, 2019). Além disso, existem várias outras vantagens significativas na escolha de um sistema de energia fotovoltaica. Conforme Cintra Júnior (2018), inclui-se:

- O fato de não haver combustível necessário para operar o sistema;
- Nenhuma poluição sonora do sistema;
- Não há necessidade de poluição do ar ou da água;
- Sem necessidade de manutenção sem partes móveis;
- O aumento da potência é possível com apenas alguns módulos extras adicionados;
- O sistema pode durar mais de 25 anos antes de precisar ser substituído;
- As placas são resistentes às intempéries externas que podem danificar os componentes do sistema;
- Um grande aumento na saída de energia quando novos módulos são adicionados ao sistema.

Todavia, Cintra Júnior (2018), mencionada que há algumas desvantagens relacionadas a escolha de um sistema de energia fotovoltaica, como:

- O alto custo de investimento em tecnologia de ponta que produz células fotovoltaicas;

- Exigir tecnologia avançada o torna uma opção cara;
- O calor refletido pode levar à morte de aves próximas aos painéis;
- Custos elevados e tecnologia avançada causam rendimentos reduzidos com muitas variáveis nas mudanças climáticas.

Assim, fazendo uma leitura sobre esses itens, pode-se concluir que os principais benefícios relacionados à utilização luz solar, sobretudo com o objetivo de reduzir o consumo de energia, incluem o fato de ser um recurso abundante e gratuito para todos os habitantes do planeta (TORRE; ALVES; CÔRREA, 2018). Além disso, não gera poluição nem demanda uma grande quantidade de combustível. Também não gera poluição sonora (SILVÉRIO, 2021). Esses benefícios são o que tornam a luz solar a opção mais relevante para um sistema de energia solar (TAKAKI; CASTRO, 2022).

Todavia, além desses benefícios, existem desvantagens a serem consideradas (SILVA et al., 2021). Algumas das principais, como elencado, incluem o alto investimento envolvido, o fato de que o rendimento do campo é diminuído por causa desse investimento e que seu rendimento é influenciado pelo clima (SANTOS JUNIOR et al., 2015). Além disso, as aves podem morrer devido ao reflexo da luz solar e também pelo excesso de calor emitido pela radiação (REBOUÇAS et al., 2022).

Outra desvantagem é que as células fotovoltaicas precisam de tecnologia de ponta para serem produzidas e demoram muito para produzir essas células (PASSOS et al., 2017). Introduzido o panorama dos sistemas fotovoltaicos, a seguir, será discutido sobre a importância da sua aplicação nas edificações residenciais e comerciais com o objetivo de aumentar a eficiência energética.

## **2.14 Análise financeira**

### **2.14.1 Payback**

O Payback é um indicador financeiro bastante utilizado para medir o período de tempo necessário para que um investimento retorne o capital investido. Essa métrica é uma forma de avaliar a viabilidade financeira de um projeto ou

empreendimento, permitindo aos investidores decidir se devem ou não investir em uma determinada oportunidade.

O Payback pode ser expresso em meses ou anos, dependendo da periodicidade do fluxo de caixa. Se o fluxo de caixa for anual, o resultado será em anos. Se o fluxo de caixa for mensal, o resultado será em meses.

Embora seja uma métrica simples e fácil de calcular, o Payback tem algumas limitações. Uma delas é que não considera o valor do dinheiro no tempo, ou seja, não leva em conta que um real hoje pode valer mais do que um real no futuro. Além disso, o Payback não considera os fluxos de caixa que ocorrem após o período de recuperação do investimento, o que pode levar a uma subestimação do retorno total do investimento.

Apesar dessas limitações, o Payback é uma ferramenta útil para avaliar rapidamente a viabilidade financeira de um projeto ou empreendimento. É importante ressaltar que o Payback deve ser utilizado em conjunto com outros indicadores financeiros, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), para obter uma visão mais completa da viabilidade financeira do projeto.

#### 2.14.2 Valor presente líquido – VPL

O Valor presente líquido (VPL) é uma métrica financeira utilizada para avaliar a viabilidade de um projeto ou investimento. O VPL calcula a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa esperados do projeto e o investimento inicial necessário para realizar o projeto.

Ou seja, o VPL é uma forma de determinar se um projeto é financeiramente viável ou não, comparando o valor presente dos fluxos de caixa esperados com o investimento inicial. Se o VPL for positivo, significa que o projeto é viável, pois o valor presente dos fluxos de caixa é maior do que o investimento inicial. Se o VPL for negativo, significa que o projeto não é viável financeiramente.

O cálculo do VPL envolve a projeção dos fluxos de caixa futuros do projeto, descontados a uma taxa de desconto adequada. A taxa de desconto utilizada é geralmente o custo de capital da empresa, ou uma taxa de retorno exigida pelos investidores.

O VPL é uma ferramenta importante para avaliar projetos de investimento e tomar decisões de investimento com base em critérios financeiros. Ele permite que os investidores analisem a rentabilidade de um projeto e avaliem se ele é capaz de gerar valor para a empresa ou para os investidores.

#### 2.14.3 Taxa interna de retorno – TIR

A Taxa interna de retorno (TIR) é um conceito financeiro utilizado para calcular a rentabilidade de um investimento ao longo do tempo. Essa medida é expressa em forma de uma taxa percentual, que representa a taxa de retorno esperada sobre o investimento.

A TIR é calculada com base no fluxo de caixa de um investimento, ou seja, a entrada e saída de dinheiro ao longo do tempo. O objetivo é encontrar a taxa de juros que torna o valor presente líquido dos fluxos de caixa igual a zero.

Isso significa que a TIR é a taxa de juros que faz com que o valor presente de todas as entradas de dinheiro (receitas) seja igual ao valor presente de todas as saídas de dinheiro (despesas) do investimento. Portanto, quanto maior for a TIR, maior será a rentabilidade do investimento.

A TIR é uma medida importante na análise de investimentos, pois permite que os investidores comparem a rentabilidade de diferentes investimentos de maneira eficiente. É importante notar que a TIR não leva em consideração o risco associado a um investimento, o que significa que, ao tomar decisões de investimento, os investidores também devem considerar outros fatores, como o risco e a liquidez do investimento.

### **2.15 A taxação do sistema fotovoltaico Lei 14.300/2022**

A Lei 14.300/22 tem causado muita controvérsia e discussão na sociedade brasileira. Essa lei, que trata da taxação da energia solar, tem sido alvo de críticas e elogios por parte de diferentes grupos e segmentos.

De um lado, há aqueles que defendem a taxação da energia solar como uma forma de garantir que quem utiliza a rede elétrica pague pelo seu uso, inclusive aqueles que geram energia própria. Além disso, argumenta-se que a isenção de

impostos para a energia solar pode beneficiar principalmente aqueles que têm mais recursos financeiros para investir em sistemas de energia solar, enquanto aqueles com menor poder aquisitivo acaba arcando com o custo da manutenção da rede elétrica.

De acordo com a lei, todos os produtores que adotarem a energia fotovoltaica a partir de 7 de janeiro de 2023 terão que pagar a taxa de 15%, escalonando para 30% em 2024, 45% em 2025, 60% em 2026, 75% em 2027 e 90% em 2028. Em 2029, a ANEEL estabelecerá novas medidas tarifárias. Já aqueles que protocolaram o sistema até o dia 6 de janeiro deste ano, serão isentos dessa taxa até 2045. Inclusive as pessoas que apenas protocolaram o sistema até o prazo final (no dia 6 de janeiro de 2023), mas elas devem construir o projeto em até 120 dias.

Embora a nova lei possa desencorajar novos investimentos em energia solar, é importante ressaltar que a isenção para aqueles que protocolaram seus sistemas antes da data limite pode representar um incentivo para que mais pessoas adotem essa tecnologia em um futuro próximo.

A Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica (TUSD) é uma tarifa cobrada na conta de energia elétrica de consumidores que utilizam a rede de distribuição de energia elétrica para transportar energia elétrica gerada por eles próprios para outros locais.

No caso do fio B, a TUSD é cobrada de consumidores que geram energia elétrica através de painéis solares ou outras fontes renováveis e injetam o excedente de energia gerada na rede de distribuição de energia elétrica para ser utilizado por outros consumidores. A TUSD é uma tarifa cobrada pela concessionária de energia elétrica pelo uso da infraestrutura de distribuição de energia elétrica.

A TUSD é calculada com base na capacidade de transmissão da rede de distribuição de energia elétrica e varia de acordo com o horário de utilização da rede. Ou seja, quanto maior a demanda de energia elétrica em determinado horário, maior será o valor da TUSD nesse horário.

A cobrança da TUSD pelo uso da rede de distribuição de energia elétrica tem sido um tema de discussão em diversos países, já que a adoção de fontes renováveis de energia elétrica tem crescido significativamente nas últimas décadas. Algumas concessionárias de energia elétrica têm argumentado que a cobrança da TUSD é

necessária para cobrir os custos de manutenção e investimentos na rede de distribuição de energia elétrica, enquanto outros argumentam que a cobrança da TUSD desestimula a adoção de fontes renováveis de energia elétrica.

Em 2019, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamentou a cobrança da TUSD para micro e minigeradores de energia elétrica, estabelecendo que a tarifa seria cobrada apenas sobre o excedente de energia gerada que é injetado na rede de distribuição de energia elétrica. Essa regulamentação foi recebida com críticas por alguns setores, que argumentam que a cobrança da TUSD ainda é uma barreira para a adoção de fontes renováveis de energia elétrica.

Em suma, a TUSD é uma tarifa cobrada pela utilização da rede de distribuição de energia elétrica por consumidores que geram sua própria energia elétrica através de fontes renováveis. A cobrança da TUSD tem sido alvo de discussão e regulamentação em diversos países, já que pode desestimular a adoção de fontes renováveis de energia elétrica, mas também é vista por algumas concessionárias como necessária para cobrir os custos de manutenção e investimentos na rede de distribuição de energia elétrica.

No entanto, é importante destacar que a taxa escalonará nos próximos anos, aumentando gradativamente até atingir 90% em 2028. Em 2029, a ANEEL estabelecerá novas medidas tarifárias, o que significa que os produtores terão que se adaptar a novas regras e exigências.

### 3 METODOLOGIA

Diante das definições sobre a aplicação da metodologia no trabalho científico, este estudo, se divide nos seguintes critérios:

1. Quanto aos fins da pesquisa: Nessa etapa, o autor define o objetivo principal do estudo, que é aplicar métodos de análise financeira para a tomada de decisão em aceitar ou rejeitar o projeto de dimensionamento do sistema solar fotovoltaico residencial de microgeração e minigeração conectado à rede. Essa etapa também envolve a escolha dos métodos de pesquisa mais adequados para atingir esse objetivo.
2. Quanto aos meios da pesquisa: Nessa etapa, o autor define que a pesquisa será bibliográfica, ou seja, será baseada em dados retirados de materiais de livros, portais eletrônicos de órgãos regulamentadores, dentre outras fontes. Além disso, o autor define que o estudo será um estudo de caso, realizando uma pesquisa detalhada sobre o sistema a ser implantado com aplicação de técnicas para análise da viabilidade do projeto. O autor também define que utilizará algumas ferramentas para coletar e analisar os dados, como o software SunData 3.0 para levantamento de dados de irradiação solar e a ferramenta Microsoft Excel para realizar cálculos de análise financeira.
3. Coleta de dados: Nessa etapa, o autor coleta os dados necessários para o estudo, utilizando os meios definidos na etapa anterior. Para isso, ele pode realizar consultas em materiais de livros, portais eletrônicos, bem como conduzir entrevistas ou observações do sistema a ser implantado.
4. Resultados e Discursões: Nessa etapa, o autor utiliza os métodos de análise financeira escolhidos para analisar os dados coletados e avaliar a viabilidade do projeto. O autor também utiliza técnicas de estatística e matemática para obter resultados confiáveis.
5. Conclusão: Nessa etapa, o autor apresenta os resultados da pesquisa, fazendo uma análise crítica dos dados coletados e avaliando se o projeto é viável ou

não. O autor também pode apresentar sugestões para melhorias futuras no projeto.

6. Referências bibliográficas: Por fim, o autor apresenta uma lista de todas as fontes utilizadas na pesquisa, seguindo as normas da ABNT.

## **4 RESULTADOS E DISCURSÕES**

Neste capítulo apresentaremos os resultados e as discursões referentes ao desenvolvimento do trabalho.

### **4.1 Projeto**

#### **4.1.1 Análise do consumo de energia**

Iniciar um estudo requer, antes de tudo, a identificação e a análise de dados relevantes que permitam uma compreensão clara do objeto de estudo. No caso do consumo de energia elétrica, não é diferente.

Para entender a relação entre o consumo mensal e o valor total gasto com o serviço de fornecimento de energia elétrica, é preciso obter dados precisos e atualizados da concessionária responsável pelo serviço, no caso a Amazonas Energia.

Por isso, o levantamento de informações das últimas 12 faturas do local estudado, referentes ao período de janeiro 2022 a dezembro de 2022, se mostrou uma estratégia importante para a realização de um estudo aprofundado sobre o consumo de energia elétrica.

Os dados coletados nessa Tabela 1, nos permitem visualizar a variação do consumo de energia elétrica ao longo do tempo e sua relação com os custos associados ao serviço fornecido pela Amazonas Energia. Com base nessas informações, é possível identificar padrões de consumo, identificar possíveis problemas de desperdício de energia e propor medidas para redução do consumo.

Além disso, o estudo pode trazer benefícios tanto para o consumidor quanto para a concessionária responsável pelo serviço. Para o consumidor, o estudo pode auxiliar na redução dos custos associados à energia elétrica, além de promover uma maior consciência em relação ao uso consciente da energia elétrica. Já para a concessionária, a análise desses dados pode contribuir para uma gestão mais eficiente do fornecimento de energia elétrica, melhorando a qualidade do serviço prestado aos clientes.

Tabela 1 - Dados de consumo e custo com energia elétrica da residência

MÊS	CONSUMO KWH/MÊS	VALOR KWh	TAXA DE ILUMINAÇÃO	CUSTO MENSAL
Jan 2022	544	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 506,18
Fev 2022	510	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 477,79
Mar 2022	420	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 402,64
Abr 2022	424	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 405,98
Mai 2022	457	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 433,54
Jun 2022	495	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 465,27
Jul 2022	586	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 541,25
Ago 2022	617	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 567,14
Set 2022	612	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 562,96
Out 2022	645	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 590,52
Nov 2022	650	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 594,69
Dez 2022	580	R\$ 0.835	R\$ 51,94	R\$ 536,24
<b>MÉDIA</b>	545			R\$ 507,02

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após a estimativa do consumo obtido através da Tabela 1, obtivemos um total de 545 kWh/mês dividindo por 30 dias obtivemos um consumo diário de 18166,67 Wh/dia.

Para efetuar os cálculos consideramos o valor do KW/h de R\$ 0,835, que passou vigorar no ano de 2022, somado a taxa de iluminação de R\$ 51,94. Outros dados importantes verificados na fatura de energia foram:

- Tipo de propriedade – residencial ( rural, residencial, comercial);
- Tipo de ligação – bifásica (monofásica, bifásica, trifásica).

O tipo de ligação está atrelado ao custo de disponibilidade mínimo que o consumidor deve pagar na conta de energia (monofásica = 30 kWh, bifásica = 50 kWh e trifásica = 100 kWh).

#### 4.1.2 Descrição do local estudado

O imóvel estudado neste trabalho, é uma propriedade residencial que está localizada na cidade de Manaus – AM, onde residem quatro pessoas e a área

construída é de aproximadamente 160m<sup>2</sup>. O telhado residencial é livre de sombreamento devido à altura maior que das edificações ao redor.

A Figura 15 mostra a vista via satélite do local de estudo, localizado nas coordenadas: Latitude: 3,001° S, Longitude: 59,949° O.

Figura 15 - Telhado do local estudado.



Fonte: Google Earth (2022).

#### 4.1.3 Irradiação solar de Manaus

A residência estudada está localizada na cidade de Manaus, localizada na região nordeste do estado do Amazonas, cuja radiação solar diária média mensal corresponde a HSP = 4,32 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Este dado foi retirado programa SunData 3.0, disponibilizado pelo CRESEB como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Irradiação solar diária de Manaus.

Estação: Manaus  
Município: Manaus , AM - BRASIL  
Latitude: 3,001° S  
Longitude: 59,949° O  
Distância do ponto de ref. ( 3,020795° S; 59,984155° O) :4,5 km

#	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
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	3,87	4,07	4,02	3,81	<b>3,81</b>	4,30	4,34	4,95	<b>4,97</b>	4,82	4,66	4,18	<b>4,32</b>	<b>1,16</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	3° N	<b>3,81</b>	4,03	4,01	3,84	3,87	4,40	4,43	<b>5,02</b>	4,98	4,79	4,59	4,11	<b>4,32</b>	<b>1,21</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	4° N	<b>3,79</b>	4,01	4,01	3,84	3,88	4,43	4,46	<b>5,04</b>	4,98	4,77	4,57	4,08	<b>4,32</b>	<b>1,25</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	2° N	3,83	4,04	4,02	<b>3,83</b>	3,85	4,37	4,40	<b>5,00</b>	4,97	4,80	4,62	4,14	<b>4,32</b>	<b>1,17</b>

Fonte: CRESEB (2022).

O cálculo da média do HSP, foi obtido através da equação mostrada na Figura 17.

Figura 17 - Calculo média de HSP.

$$HSP = \frac{\text{media 1} + \text{media 2} + \text{media 3} + \text{media 4}}{4}$$
$$HSP = 4,32 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$$

Fonte: CRESEB (2022).

## 4.2 Dimensionamento do sistema

### 4.2.1 Potência de pico do painel fotovoltaico

Inicialmente, foi necessário escolher o painel solar mais adequado para o projeto. A decisão recaiu sobre o modelo ODA450-36-MH da OSDA, conforme Figura 18.

Figura 18 - Módulo Fotovoltaico 450Wp ODA450-36-HM OSDA.



Fonte: <https://energeasysolar.com.br/produto/modulo-fotovoltaico-450wp-oda450-36-hm-osda/>.

O painel fotovoltaico escolhido para estudo neste projeto tem uma potência de 450Wp e uma eficiência de 20,26% conforme mostra os dados do Quadro 1.

Quadro 1- Dados Gerais do painel fotovoltaico utilizado no estudo.

DADOS GERAIS	PARÂMETROS ELÉTRICOS (STC)	CARATERÍSTICAS TÉRMICAS (NOCT)
Fabricante – OSDA	Potência - 450Wp	Temperatura Nominal de Operação da Célula - 45+/-2°C
Modelo - ODA450-36-MH	Tensão Máxima de Operação (Vmp) - 41,40V	
Tipo de célula - Monocristalina	Corrente Máxima de Operação (Imp) - 10,87A	
Tecnologia - Half-Cell	Tensão de Circuito Aberto (Voc) - 50,22V	
Número de células - 144	Corrente de Curto Circuito (Isc) - 11,48A	
Tipo de conexão - MC4	Eficiência do painel - 20,26%	
Dimensões (L x A x P) - 2,115 x 1,050 x 0,040 m		
Peso - 23,5 kg		

Fonte: [https://www.radarsolar.com.br/uploads/produtos/80/0000167\\_datasheet.pdf](https://www.radarsolar.com.br/uploads/produtos/80/0000167_datasheet.pdf).

A escolha deste painel foi feita em função da disponibilidade do fornecedor. É importante ressaltar que esse painel apresenta uma das melhores eficiências do mercado, o que garante um melhor aproveitamento na conversão de energia. Ele é fabricado com silício monocristalino, o que lhe confere um rendimento de 20,26%.

Após escolha cuidadosa do painel solar, foi possível projetar uma instalação fotovoltaica eficiente e de alta qualidade, que atenderá às necessidades do local de maneira sustentável e econômica.

Aplicamos a equação conforme mostra a Figura 19, para obtermos a potência de pico do painel fotovoltaico.

Figura 19 - Cálculo de potência de pico do painel fotovoltaico.

$$P_{FV}(W_P) = \frac{E}{\frac{TD}{HSP}}$$

$$P_{FV}(W_P) = ((0,9 \times 18166,67) / (0,8)) / 4,32$$

$$P_{FV}(W_P) = 4730,90 W_P$$

Fonte: CRESEB (2022).

Onde:

 $P_{FV}(W_P)$  - Potência de pico do painel fotovoltaico; $E$  (Wh / dia) - Consumo diário médio anual da edificação; $HSP$  (h) - Média diária das HSP incidente no plano do painel; $TD$  - Taxa de desempenho do sistema 0,8.

#### 4.2.2 Dimensionamento do número de painéis fotovoltaicos

O dimensionamento do número de painéis usados fora obtido através das equações mostradas nas Figuras 20 e Figura 21.

A Figura 20, mostra a quantidade de painéis necessários para o sistema fotovoltaico. Como não é possível implementar um número quebrado para os painéis, optamos por escolher o número de 11 painéis conforme Figura 21, aumentando a capacidade do nosso sistema.

Figura 20 - Calculo número de quantidade de painéis.

$$N_{\text{Painéis}} = P_{FV} / P_{\text{Painel}}$$

$$N_{\text{Painéis}} = 4730,90 / 450 = 10,51$$

Fonte: CRESEB (2022).

Figura 21 - Calculo potência corrigida.

$$P_{\text{Corrigida}} = N_{\text{Painéis}} \times P_{\text{Painel}}$$

$$P_{\text{Corrigida}} = 11 \times 450 = 4950 W_P$$

Fonte: CRESEB (2022).

Onde:

 $N^{\circ}$  Painéis - Número de painéis calculados para o sistema;

$P_{Corrigida}$  - Potencia corrigida do sistema.

#### 4.2.3 Calculo de área para instalação dos painéis

A área do painel fotovoltaico pode ser calculada de forma simples, conforme mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Cálculo de área do painel

$$A_{Painel} = L * A$$

$$A_{Painel} = 2,115 * 1,050$$

$$A_{Painel} = 2,221 \text{ m}^2$$

$$A_{Total} = 2,221 * 11$$

$$A_{Total} = 24,431 \text{ m}^2$$

Fonte: CRESEB (2022).

Onde:

$A_{Painel}$  - Área de 1 painel fotovoltaico em  $\text{m}^2$ ;

$A_{Total}$  - Área total calculada para instalação dos 11 painéis fotovoltaicos.

#### 4.2.4 Dimensionamento do Inversor

O inversor fotovoltaico foi escolhido com base na potência corrigida do sistema. Para este projeto foi utilizado um inversor da fabricante Fronius, modelo PRIMO 5.0, o inversor possui potência máxima de operação na entrada CC de 5,0 kW. O cálculo de FDI do inversor é realizado através da equação mostrada na Figura 23.

Figura 23 - Calculo FDI inversor

$$FDI = P_{Nca} (W) / P_{Fv} (Wp)$$

$$FDI = 5000 / 4950 = 1.01$$

Fonte: CRESEB (2022).

Onde:

$FDI$  (adimensional) - Fator de dimensionamento do inversor ( $0,75 \leq FDI \leq 1.05$ );

$P_{Nca} (W)$  - Potência nominal CA do Inversor;

$P_{Fv} (Wp)$  - Potência de pico do painel fotovoltaico.

Além disso, a escolha do inversor também afeta o custo total do sistema, já que o preço varia de acordo com a potência e a qualidade do equipamento. Por isso, é importante escolher o inversor de frequência mais adequado para cada sistema, levando em consideração as especificações técnicas, conforme mostrado no Quadro 2, o custo e a durabilidade do equipamento.

Quadro 2 - Dados do Inversor

DADOS TÉCNICOS DO INVERSOR FRONIUS PRIMO 5.0	
Potência Complexa CA	5000 VA
Potência CC	5000 W
Vcc max	1000 V
Faixa de tensão de MPPT	80 - 800 V
Corrente CC max	18 / 18 A
Frequência (fr)	50 / 60 Hz
Rendimento	98,1 %

Fonte: <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar>

A Figura 24, mostra o inversor dimensionado para o sistema fotovoltaico.

Figura 24 - Inversor Fronius.



Fonte: <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar>

### 4.3 Análise financeira

O estudo da viabilidade econômica da instalação de um sistema de energia fotovoltaica se baseará em métodos amplamente utilizados na área de gestão econômica e financeira. Segundo Macedo (2014, p.56), os métodos mais utilizados para análise de fluxo de caixa em projetos são: Período de Payback simples, Período de Payback descontado, Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL).

No presente estudo, serão utilizados o payback simples, a TIR e o VPL para analisar o investimento do projeto em questão, levando em consideração uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que será baseada nos ganhos de uma aplicação financeira. Como o estudo está centrado em um consumidor residencial, será adotada uma taxa que esteja dentro do perfil desse tipo de consumidor, seguindo as orientações de Macedo (2014, p.63), que estabelece que “a taxa de juros auferida no novo projeto deve ser no mínimo a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes, seguras e de baixo risco”. Dessa forma, será utilizada uma taxa de 7,89%, correspondente à aplicação de caderneta de poupança nos últimos 12 meses do ano de 2022.

Para analisar o Payback do projeto, será necessário demonstrar a depreciação do valor investido em relação ao valor economizado na conta de luz, conforme poderemos observar na Tabela 2.

Utilizaremos a formula mostrada na Figura 25, para cálculo de payback simples.

Figura 25 - Formula para cálculo de Payback.

$$Payback = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Fluxo de Caixa Anual}}$$

Fonte: Macedo (2014).

*Onde:*

*Investimento Inicial* - é o valor total investido no projeto ou empreendimento;

*Fluxo de Caixa Anual* - é a quantia de dinheiro que o investimento gera a cada ano.

Para facilitar o entendimento, será apresentado o fluxo de caixa do período em que o projeto estará em atividade. O custo estimado completo (equipamentos,

instalação e adequação à rede) do sistema fotovoltaico para a residência estudada é de R\$ 29.057,42, este valor foi obtido através do simulador do NeoSolar.com.br, onde foi gerada uma proposta para instalação de um kit solar de 5,40 kWp contendo os seguintes equipamentos, conforme podemos observar na Figura 26.

Figura 26 - Proposta NeoSolar kit 5.40 kWp

EQUIPAMENTO	MODELO	QUANTIDADE
Painéis Solares	OSDA 450Wp	12
Inversor	Deye 2 kW c/ Wifi	3
Stringboxes	NeoSolar/Proauto	De acordo com o projeto
Cabos Solares e Conectores	Condu spar e Multicontact	De acordo com o projeto
Estrutura de Fixação	Telhado cerâmico, em aço inox e alumínio	12

Fonte: NeoSolar.com.br (2022).

O período de 25 anos do projeto será referente a garantia que existe das placas fotovoltaicas pelo fabricante, ou seja, as placas que são os elementos que elevam o custo do sistema, tem garantia de funcionamento de no mínimo 25 anos garantidos pelo fabricante. O fluxo de caixa de cada ano será o valor da média dos últimos 12 meses (Jan 2022 a Dez 2022) gerando o valor de R\$ 507,02 gastos com o fornecimento de energia elétrica pela Amazonas Energia multiplicada por 12 meses, gerando um valor R\$ 6.084,24. Será adotado o sistema de payback simples, para efeito de estudo.

Conforme dados da Tabela 2, verifica-se que o payback do projeto de instalação é dado no ano 5, ou seja, o projeto terá o retorno do investimento somente no quinto ano após sua instalação. Após este período, conta-se que os demais valores dos próximos fluxos de caixa serão de lucro para o investidor, ou seja, no final dos 25 anos, a implantação do sistema renderá R\$ 123.048,58.

Tabela 2 - Fluxo de caixa e payback

<b>VALOR INVESTIMENTO NO PROJETO (25 ANOS)</b>	<b>FLUXO DE CAIXA ANUAL</b>	<b>PAYBACK</b>
Ano 0	-R\$ 29.057,42	
Ano 1	R\$ 6.084,24	-R\$ 22.973,18
Ano 2	R\$ 6.084,24	-R\$ 16.888,94
Ano 3	R\$ 6.084,24	-R\$ 10.804,70
Ano 4	R\$ 6.084,24	-R\$ 4.720,46
Ano 5	R\$ 6.084,24	R\$ 1.363,78
Ano 6	R\$ 6.084,24	R\$ 7.448,02
Ano 7	R\$ 6.084,24	R\$ 13.532,26
Ano 8	R\$ 6.084,24	R\$ 19.616,50
Ano 9	R\$ 6.084,24	R\$ 25.700,74
Ano 10	R\$ 6.084,24	R\$ 31.784,98
Ano 11	R\$ 6.084,24	R\$ 37.869,22
Ano 12	R\$ 6.084,24	R\$ 43.953,46
Ano 13	R\$ 6.084,24	R\$ 50.037,70
Ano 14	R\$ 6.084,24	R\$ 56.121,94
Ano 15	R\$ 6.084,24	R\$ 62.206,18
Ano 16	R\$ 6.084,24	R\$ 68.290,42
Ano 17	R\$ 6.084,24	R\$ 74.374,66
Ano 18	R\$ 6.084,24	R\$ 80.458,90
Ano 19	R\$ 6.084,24	R\$ 86.543,14
Ano 20	R\$ 6.084,24	R\$ 92.627,38
Ano 21	R\$ 6.084,24	R\$ 98.711,62
Ano 22	R\$ 6.084,24	R\$ 104.795,86
Ano 23	R\$ 6.084,24	R\$ 110.880,10
Ano 24	R\$ 6.084,24	R\$ 116.964,34
Ano 25	R\$ 6.084,24	R\$ 123.048,58

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Porém, somente a análise do payback simples não fornece condições para a aceitação do projeto por não levar em consideração o valor do investido no decorrer dos anos de instalação do projeto. Deste modo, o próximo passo é realizar a análise do investimento considerando o valor do dinheiro durante a aplicação do projeto, que é de 25 anos.

A equação na Figura 27 mostra, fluxo de caixa inicial (- CF<sub>0</sub>) representa o investimento inicial realizado no projeto e, por isso, está negativo, seguido pelo

somatório dos fluxos de caixa esperado (CFj), descontado pelo período do investimento até a linha do período zero.

Os cálculos da VPL formam realizados através da ferramenta Microsoft Excel.

Figura 27 - Formula utilizada para cálculo de VPL usando o Excel

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+i)^n}$$

Fonte: Macedo (2014).

Onde:

$CF_0$  – Fluxo de caixa inicial;

$CF_j$  – Fluxo de caixa esperado;

$n$  - Período do movimento no fluxo de caixa;

$i$  – Taxa de atratividade.

Mediante o exposto, o VPL será encontrado pelo fluxo de caixa inicial de -R\$ 29.057,42 mais a somatória de R\$ 6.084,24 descontado pela taxa de 7,89% por 25 períodos (25 anos).

Após o cálculo, o VPL atingiu o valor de R\$ 36.505,42 representando que o projeto é viável financeiramente, considerando que, para que o projeto seja aceito, o VPL deverá ter o valor positivo, ou seja,  $VPL > 0$ .

A Figura 28, mostra a formula utilizada para obtermos o valor da TIR, onde o fluxo de caixa inicial será de – R\$ 29.057,42, seguido pelo fluxo de caixa de entradas de R\$ 6.084,24 durante 25 anos. Por fim, o valor da TIR é de 21%, que consequentemente é maior do que a taxa de atratividade do investimento estabelecida de 7,89%, ocasionando a aprovação do projeto em questão.

Os cálculos da TIR formam realizados através da ferramenta Microsoft Excel.

Figura 28 - Formula utilizada para cálculo de TIR usando o Excel.

$$CF_0 \sum \frac{CF_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Fonte: Macedo (2014).

Onde:

TIR - Taxa interna de retorno;

CF - Fluxo de caixa;

n - Período do movimento no fluxo de caixa.

#### 4.4 Análise financeira com taxação TUSD Fio B

A TUSD Fio B é uma das modalidades de tarifação de uso do sistema de distribuição de energia elétrica, que tem um impacto significativo na conta de luz dos consumidores. Para realizar o cálculo da TUSD Fio B, é necessário consultar os resultados dos processos tarifários de distribuição da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), conforme mostra a Figura 29, onde é possível encontrar o valor da tarifa através do endereço <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/basestarifas>.

Figura 29 - Base de Dados das Tarifas das Distribuidoras de Energia Elétrica.

Sigla	Resolução ANEEL	Início Vigência	Fim Vigência	Base Tarifária	Subgrupo	Modalidade	Classe	Subclasse	Detalhe	Acessante	Posto	Unidade	TUSD	TE
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Base Econômica	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	APB	Não se aplica	Fora ponta	kWh	4,84	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Tarifa de Aplicação	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	APB	Não se aplica	Fora ponta	kWh	5,01	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Base Econômica	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Fora ponta	kWh	4,54	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Tarifa de Aplicação	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Fora ponta	kWh	5,01	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Base Econômica	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Fora ponta	MWh	15,66	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Tarifa de Aplicação	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Fora ponta	MWh	16,97	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Base Econômica	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Fora ponta seca	MWh	15,88	143,05
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Tarifa de Aplicação	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Fora ponta seca	MWh	16,97	144,52
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Base Econômica	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Fora ponta umida	MWh	15,66	123,12
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Tarifa de Aplicação	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Fora ponta umida	MWh	16,97	129,11
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Base Econômica	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	APB	Não se aplica	Ponta	kWh	17,63	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Tarifa de Aplicação	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	APB	Não se aplica	Ponta	kWh	18,38	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Base Econômica	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Ponta	kWh	17,63	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Tarifa de Aplicação	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Ponta	kWh	18,38	0,00
AmB	REN Nº 1.077, DE 28 DE OUTUBRO DE 2010	01-11-2010	31-10-2011	Base Econômica	A3	Azul	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Ponta	MWh	15,66	0,00

Fonte: ANEEL (2023).

Após isso, basta preencher todos os dados necessários da planilha, como sigla, ano, base tarifária, subgrupo, modalidade, classe...

Para preencher o campo Sigla, basta informar a sua distribuidora ou permissionária, neste caso utilizaremos a Amazonas Energia.

Depois vamos para o ano, que neste caso foi selecionado o ano de 2022, lembrando que às vezes ainda não saiu o valor da TUSD Fio B do ano de 2023.

Após isso escolhemos a componente tarifária, neste caso, queremos a TUSD Fio B, conforme mostrado na Figura 30.

Figura 30 - Valor da TUSD Fio B Amazonas Energia.

Sigla	REH	Início Vigência	Fim Vigência	Base Tarifária	Subgrupo	Modalidade	Classe	Subclasse	Detalhe	Acessante	Posto	Unidade	Componente Tarifária	Valor
Amazonas Energia	REH Nº 3.132, DE 1 DE NOVEMBRO DE 2022	01/11/2022	31/10/2023	Tarifa de Aplicação	B1	Convencional	Residencial	Residencial	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	MWh	TUSD_FioB	239,33

Fonte: ANEEL (2023)

Com isso obtemos o valor da TUSD Fio B da Amazonas Energia do subgrupo B1 Convencional que é de: 239,33 R\$ / MWh ou 0,239 R\$ / kWh. O valor da tarifa B1 convencional que utilizamos para os cálculos foi de R\$ 0.835 / kWh.

Com o valor da TUSD Fio B, conforme mostrado na equação da Figura 31, podemos calcular o valor da taxa do sistema fotovoltaicos em 2023 aplicando a Lei 14.300/2022.

Figura 31 – Equação valor taxa do Sistema FV 2023.

$$TUSD \text{ Fio B} = 0,239$$

$$Valor \text{ tarifa } TUSD \text{ fio B para } 2023 = 15\% \times 0,239$$

$$Valor \text{ tarifa } TUSD \text{ fio B para } 2023 = 0,036$$

$$Valor \text{ taxa do Sistema FV } 2023 = \text{Media consumo} \times \text{Tarifa } TUSD \text{ fio B } 2023$$

$$Valor \text{ taxa do Sistema FV } 2023 = 545 \times 0,036$$

$$Valor \text{ taxa do Sistema FV } 2023 = R\$ 19,62$$

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Lembrando que equação da Figura 31, para cálculo do valor da TUSD Fio B, pode ser aplica para os anos de 2024, 2025... assim por diante, conforme o Art. 27 da Lei 14.300, podemos observar o valor das taxas calculadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Taxas fio B.

<b>% TAXAÇÃO FIO B ANUAL</b>	<b>TAXA FIO B ANUAL</b>
<b>Ano 1 (15% - 2023)</b>	R\$ 19,62
<b>Ano 2 (30% - 2024)</b>	R\$ 39,24
<b>Ano 3 (45% - 2025)</b>	R\$ 58,86
<b>Ano 4 (60% - 2026)</b>	R\$ 78,48
<b>Ano 5 (75% - 2027)</b>	R\$ 97,55
<b>Ano 6 (90% - 2028)</b>	R\$ 117,17

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para calcular o novo fluxo de caixa, subtraímos o valor da taxa de fio B calculada conforme Tabela 3, do valor de fluxo de caixa anterior à aplicação da lei, no valor de R\$ 6.084,24. Gerando um novo valor de R\$ 6.064,24 para o ano de 2023, o mesmo cálculo foi usado para os demais anos, conforme Tabela 4, de fluxo de caixa descontado da taxa do fio B.

Vale ressaltar que como ainda não há uma definição da taxa a ser aplicada a partir de (2029), consideramos utilizar a taxa do ano anterior (2028) para os demais períodos do fluxo de caixa.

Tabela 4 -Fluxo de caixa e payback descontada a taxa do fio B

<b>VALOR INVESTIMENTO NO PROJETO (25 ANOS)</b>	<b>FLUXO DE CAIXA ANUAL DESCONTADA TAXA FIO B</b>	<b>PAYBACK</b>
<b>Ano 0</b>	-R\$ 29.057,42	
<b>Ano 1</b>	R\$ 6.064,62	-R\$ 22.992,80
<b>Ano 2</b>	R\$ 6.045,00	-R\$ 16.947,80
<b>Ano 3</b>	R\$ 6.025,38	-R\$ 10.922,42
<b>Ano 4</b>	R\$ 6.005,76	-R\$ 4.916,66
<b>Ano 5</b>	R\$ 5.986,69	R\$ 1.070,03
<b>Ano 6</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 7.037,10
<b>Ano 7</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 13.004,17
<b>Ano 8</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 18.971,24
<b>Ano 9</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 24.938,31
<b>Ano 10</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 30.905,38
<b>Ano 11</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 36.872,45
<b>Ano 12</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 42.839,52

<b>Ano 13</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 48.806,59
<b>Ano 14</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 54.773,66
<b>Ano 15</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 60.740,73
<b>Ano 16</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 66.707,80
<b>Ano 17</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 72.674,87
<b>Ano 18</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 78.641,94
<b>Ano 19</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 84.609,01
<b>Ano 20</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 90.576,08
<b>Ano 21</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 96.543,15
<b>Ano 22</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 102.510,22
<b>Ano 23</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 108.477,29
<b>Ano 24</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 114.444,36
<b>Ano 25</b>	R\$ 5.967,07	R\$ 120.411,43

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Conforme visto anteriormente adotaremos o sistema de payback simples, VPL e TIR para analisar a viabilidade do sistema após nova lei de taxaço do fio B.

Mediante o exposto, o VPL será encontrado pelo fluxo de caixa inicial de -R\$ 29.057,42 mais a somatória dos fluxos de caixa da Tabela 4, descontado pela taxa de 7,89% por 25 períodos (25 anos).

Após o cáculo, o VPL atingiu o valor de R\$ 35.488,59 representando que o projeto   viável financeiramente, considerando que, para que o projeto seja aceito, o VPL deverá ter o valor positivo, ou seja,  $VPL > 0$ .

Para obtermos o valor da TIR, onde o fluxo de caixa inicial será de - R\$ 29.057,42, seguido pelo fluxo de caixa de entradas da Tabela 4, durante o período de 25 anos. Por fim, o valor da TIR   de 20%, que conseqüentemente   maior do que a taxa de atratividade do investimento estabelecida de 7,89%, ocasionando a aprova o do projeto em questão.

A Tabela 5, mostra uma compara o entre os resultados obtidos após avalia o financeira com e sem taxaço do sistema fotovoltaico.

Tabela 5 -Comparação dos resultados obtidos no projeto com e sem taxaço.

<b>INDICES FINANCEIROS</b>	<b>VIABILIDADE DO PROJETO (SEM TAXAÇÃO)</b>	<b>VIABILIDADE DO PROJETO (COM TAXAÇÃO)</b>
<b>Investimento inicial</b>	R\$ 29.057,42	R\$ 29.057,42
<b>Payback</b>	5 anos	5 anos
<b>VPL</b>	R\$ 36.505,42	R\$ 35.488,59
<b>TIR</b>	21%	20%
<b>Economia prevista em 25 anos</b>	R\$ 123.048,58	R\$ 120.411,43

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na revisão de literatura realizada, é possível concluir que a busca pela eficiência energética é fundamental para a economia, segurança e qualidade de vida. A energia solar fotovoltaica, que vem crescendo nos últimos anos, surge como uma solução viável em meio ao aumento do preço da eletricidade. No entanto, seu alto custo ainda é uma barreira para sua utilização, principalmente para aqueles de menor poder aquisitivo, de modo que a acessibilização desta tecnologia deve ser uma prioridade do governo, em virtude dos seus amplos benefícios.

Os resultados obtidos nesta revisão de literatura mostraram que a adoção da instalação de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica é uma oportunidade de investimento que poderá gerar benefícios ao longo do tempo.

A viabilidade econômica do investimento em energia fotovoltaica foi comprovada pelo estudo de caso apresentado, onde o payback foi alcançado em 5 anos, gerando um caixa significativo nos períodos seguintes de R\$ 123.047,08. A viabilidade econômica para este consumidor é favorável tendo em vista que, quando se leva em consideração o valor do dinheiro ao longo do tempo, o projeto se torna viável pelo fato de que os indicadores atingiram os valores mínimos estabelecidos como o VPL, que atingiu um valor positivo R\$ 36.504,78 e a TIR que gerou um valor de 21% em detrimento da taxa de atratividade estabelecida de 7,89%.

Por outro lado, o aumento dos impostos e das tarifas referentes ao fornecimento de energia elétrica tende a acontecer com certa frequência, e às vezes, em períodos menores do que se têm normalmente estabelecidos pelos órgãos controladores.

Mesmos com a nova taxação que passou a vigorar em janeiro de 2023, o projeto se torna viável financeiramente.

Portanto, este projeto de instalação de um sistema de geração de energia elétrica solar por meio de placas fotovoltaicas é viável ao consumidor da residência em estudo. Ele pode destinar este investimento na instalação do sistema fotovoltaico que terá retorno financeiro mais atrativo, tornando o projeto mais viável do que uma aplicação financeira.

É importante ressaltar que a implementação da alternativa proposta reduz significativamente as contas de energia elétrica, tornando o consumo mais

sustentável. Investir em pesquisa e desenvolvimento (P&D) é, por si só, um mecanismo eficaz para garantir o suprimento de energia em situações em que fatores climáticos afetam diretamente a capacidade de geração de energia e a escassez de diversidade na produção doméstica de eletricidade pode levar à insegurança no fornecimento de energia.

Como projeto futuro pretendemos realizar um estudo sobre a viabilidade técnica e financeira de um sistema fotovoltaico híbrido.

Portanto, é necessário que o governo desenvolva políticas de incentivo ao uso de recursos e pesquisas, tornando os painéis fotovoltaicos mais acessíveis à população de baixa renda. A utilização desses sistemas tem uma ampla gama de benefícios, e estudos futuros devem demonstrar, a partir de estudos de caso práticos, as vantagens em migrar para tais sistemas. Assim, a eficiência energética é uma questão que deve ser levada a sério, não apenas pela economia de dinheiro, mas pela sustentabilidade do planeta.

## REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, K. C. F. J.; SOUZA, R. G. V. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 2, p. 383-408, 2021.
- ABU BAKAR, N. N. et al. Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 1-11, 2015.
- ALMEIDA, E. et al. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharia Bioenergética**, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015.
- ALMEIDA, M. C. L. D. **A cobrança pelo uso da água como instrumento de gestão de recursos hídricos**. São Paulo: Dialética, 2022.
- ALMEIDA, M.; FERREIRA, M. Ten questions concerning cost-effective energy and carbon emissions optimization in building renovation. **Building and Environment**, v. 143, p. 15-23, 2018.
- ALVES, M. de O. L. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. 2019. 76f. TCC (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Molevade, MG, 2019.
- ANDRADE, A. L.; SANTOS, M. A. Razões e critérios para definição da viabilidade ambiental de hidrelétricas no Brasil. **Rev. Gest. Ambient. Sustentabilidade**, v. 7, n. 2 p. 284-299, 2018.
- AQUILA, G. et al. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1090-1098, 2017.
- BAZILIAN, M. et al. Re-considering the economics of photovoltaic power. **Renewable Energy**, v. 53, p. 329-338, 2013.
- BLASZCZAK, V. **Análise de eficiência de painel fotovoltaico com sistema tracker seguidor solar**. 2017. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS, 2017.
- BODACH, S.; HAMHABER, J. Energy efficiency in social housing: opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy**, v. 38, n. 12, p. 7898-7910, 2010.
- BONDARIK, R. et al. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. **Interciencia**, v. 43, n. 10, p. 680-688, 2018.
- BOQUIMPANI, C. L. et al. Eficiência energética: sistemas de iluminação com LEDs, distribuídos em corrente contínua e utilizando energia fotovoltaica. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 303-316, 2019.

BORGES, A. C. P. et al. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, 2016.

BRADSHAW, A. Regulatory change and innovation in Latin America: The case of renewable energy in Brazil. **Utilities Policy**, v. 49, p. 156-164, 2017.

BRASIL. Plano Nacional de Habitação. Brasília: Ministério das Cidades, 2009. Disponível em: [https://urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/Habitacao/Material\\_de\\_Apoio/PLANONACIONALDEHABITAO.pdf](https://urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/Habitacao/Material_de_Apoio/PLANONACIONALDEHABITAO.pdf). Acesso em: 22 jan. 2023.

BUENO, B. G. et al. Estudo de viabilidade para utilização de placas fotovoltaicas em habitações populares. *In*: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA – CRICTE, 19., 2018, Ijuí. **Anais [...]**. Ijuí, RS: Unijuí, 2018. p. 1-3.

CANDELISE, C.; WINSKEL, M.; GROSS, R. J. K. The dynamics of solar PV costs and prices as a challenge for technology forecasting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 96-107, 2013.

CASTRO, D. F. **Eficiência energética aplicada a instalações elétricas residenciais**. 2015. 138f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

CHOI, G. et al. Prices versus quantities: Comparing economic efficiency of feed-in tariff and renewable portfolio standard in promoting renewable electricity generation. **Energy Policy**, v. 113, p. 239-248, 2018.

CINTRA JÚNIOR, A.; SOUZA, I. M. de. **Células fotovoltaicas: o futuro da energia alternativa**. 2018. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 2018.

CORREA, R. **Energia solar: uma análise de viabilidade econômico-financeira da sua instalação**. 2021. 22f. Artigo (Bacharel em Ciências Contábeis) – Universidade de Caxias do Sul, Nova Prata, RS, 2021.

CORTEZ, R. J. M. **Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica**. 2013. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Porto, Porto, 2013.

D'ÁVILA, C. C.; PRANDO, G.; MORILLA, J. C. Estudo de viabilidade para utilização de sistemas solares fotovoltaicos no Porto de Santos-SP Brasil. **Unisanta Science and Technology**, v. 5, n. 2, p. 54-62, 2016.

DALBEM, R. et al. Optimisation of a social housing for south of Brazil: from basic performance standard to passive house concept. **Energy**, v. 167, p. 1278-1296, 2019.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018.

DASSI, J. A. et al. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS*, 22., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: CBC, 2015.

DÁVI, G. A. et al. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 120, p. 19-29, 2016.

DE LA RUE DU CAN, S. et al. Design of incentive programs for accelerating penetration of energy-efficient appliances. **Energy Policy**, v. 72, p. 56-66, 2014.

DIAKAKI, C. et al. A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. **Energy**, v. 35, n. 12, p. 5483-5496, 2010.

DIAS, C. L. DE A. et al. Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil. **Renewable Energy**, v. 114, p. 367-375, 2017.

DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 3, p. 27-42, 2014.

DODOO, A.; GUSTAVSSON, L.; TETTEY, U. Y. A. Final energy savings and cost-effectiveness of deep energy renovation of a multi-storey residential building. **Energy**, v. 135, p. 563-576, 2017.

DOMINGOS, R. M. A. **Análise comparativa do custo-benefício de medidas de eficiência energética e geração fotovoltaica em habitações de interesse social**. 2020. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2020.

FERREIRA, M.; ALMEIDA, M.; RODRIGUES, A. Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 724-737, 2016.

FIRMINO, M.; SOUSA, A. **Energia solar**. Porto, Portugal: Projeto FEUP Universidade do Porto, 2015.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015.

GRANJA, R. P. **Análise de viabilidade econômica de implantação de uma aquaponia no município de Santa Cruz das Palmeiras – SP**. 2018. 77f. Dissertação. (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, 2018.

GUIMARÃES, A. W. **Placas fotovoltaicas**: um estudo avaliativo dos impactos ambientais e econômicos no IFPB – Campus Guarabira. 2021. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Gestão Comercial) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Guarabira, Guarabira, PB, 2021.

GUIMARÃES, D. C. **O impacto da aplicabilidade de tecnologia de placa fotovoltaica voltada para residência familiar usando prospecção tecnológica**. 2016. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Propriedade Intelectual) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2016.

GUTIERRES, L. F. F. et al. Promovendo o consumo consciente e sustentável de energia elétrica por meio de um projeto de extensão universitária para a educação fundamental. **Revista Brasileira de Extensão Universitária**, v. 12, n. 3, p. 297-310, 2021.

HAMILTON, I. G. et al. Energy efficiency uptake and energy savings in English houses: a cohort study. **Energy and Buildings**, v. 118, n. 2016, p. 259–276, 2016.

HOLDERMANN, C.; KISSEL, J.; BEIGEL, J. Distributed photovoltaic generation in Brazil: an economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. **Energy Policy**, v. 67, p. 612-617, 2014.

JENSEN, P. A. et al. 10 Questions Concerning Sustainable Building Renovation. **Building and Environment**, v. 143, p. 130-137, 2018.

JONES, P. et al. Five energy retrofit houses in South Wales. **Energy and Buildings**, v. 154, p. 335-342, 2017.

KARÁSEK, J. et al. Cost optimum calculation of energy efficiency measures in the Czech Republic. **Energy Policy**, v. 123, p. 155-166, 2018.

KAYNAKLI, O. A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 415-425, 2012.

KNIRSCH, T. **Caminhos para a sustentabilidade**. Edição especial. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2012.

KRARTI, M.; DUBEY, K. Benefits of energy efficiency programs for residential buildings in Bahrain. **Journal of Building Engineering**, v. 18, p. 40–50, 2018.

KRARTI, M.; DUBEY, K.; HOWARTH, N. Evaluation of building energy efficiency investment options for the Kingdom of Saudi Arabia. **Energy**, v. 134, p. 595-610, 2017.

LACCHINI, C.; RÜTHER, R. The influence of government strategies on the financial return of capital invested in PV systems located in different climatic zones in Brazil. **Renewable Energy**, v. 83, p. 786-798, 2015.

LAZAROIU, G. C. et al. Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption. **Energy Conversion and Management**, v. 92, p. 143-148, 2015.

LI, Z.; LIU, X.; TANG, R. Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels. **Renewable Energy**, v. 36, n. 1, p. 64-68, 2011.

LIANG WONG, I.; KRÜGER, E. Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities. **Energy Policy**, v. 109, p. 310-323, 2017.

LOPEZ, R. A. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

MACEDO, Joel de Jesus. **Análise de projeto e orçamento empresarial [livro eletrônico]/Joel de Jesus Macedo, Ely Celia Corbari**. – Curitiba: InterSaberes, 2014.

MARQUES, L. G. S. **Proposição de métodos de arquitetura bioclimática na escola novo progresso, Marmeleiro/PR**. 2019. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR, 2019.

MELIN, M. F. M.; CAMIOTO, F. de. C. A importância de incentivos governamentais para aumentar o uso de energia solar. **Revista GEPROS Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 14, n. 5, p. 89-108, 2019.

MITSCHER, M.; RÜTHER, R. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. **Energy Policy**, v. 49, p. 688–694, 2012.

MONTAÑEZ, J. A. M. **Gerenciamento, produção e controle de potência para um sistema híbrido de energia renovável**. 2020. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2020.

MONTEIRO, L. M. Conforto Ambiental e as Possibilidades do Modelo Adaptativo. *In*: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.) **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MONTENEGRO, A. A. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**. 2013. 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013.

MONTENEGRO, A. A. et al. Photovoltaic distributed generation in Brazil: investment valuation for the 27 capital cities. *In*: INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY, 49., 2019, Santiago. **Anais [...]**. Freiburg, Germany: ISES, 2019.

MORAN, P.; GOGGINS, J.; HAJDUKIEWICZ, M. Super-insulate or use renewable technology? Life cycle cost, energy and global warming potential analysis of nearly zero energy buildings (NZEB) in a temperate oceanic climate. **Energy and Buildings**, v. 139, n. 2017, p. 590-607, 2017.

NASCIMENTO NETO, M. do. **Eficiência energética e geração fotovoltaica distribuída no extremo norte brasileiro**. 2019. 122f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Otimização) – Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, SP, 2019.

NIEMELÄ, T.; KOSONEN, R.; JOKISALO, J. Cost-effectiveness of energy performance renovation measures in Finnish brick apartment buildings. **Energy and Buildings**, v. 137, p. 60-75, 2017.

NOGUEIRA, S. P. **Eficiência energética em instalações elétricas de baixa tensão: teoria e aplicação de métodos para melhoria da eficiência energética em um estudo de caso**. 2019. 102f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Energia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2019.

OLIVA H., S. Residential energy efficiency and distributed generation - Natural partners or competition? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 932-940, 2017.

OLIVEIRA, A. M.; MARIO, M. C.; PACHECO, M. T. T. Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no Brasil até 2050. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 1, p. 257-272, 2021.

OLIVEIRA, T.R. **Análise da viabilidade econômica da implantação de um sistema de aquecimento solar para banho em vestiário de instituição pública**. 2019. 60f. Monografia (Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2019.

OUYANG, J. et al. Economic analysis of energy-saving renovation measures for urban existing residential buildings in China based on thermal simulation and site investigation. **Energy Policy**, v. 37, n. 1, p. 140-149, 2009.

PACHECO, M.; LAMBERTS, R. Assessment of technical and economic viability for largescale conversion of single-family residential buildings into zero energy buildings in brazil: climatic and cultural considerations. **Energy Policy**, v. 63, p. 716-725, 2013.

PASSOS, D. dos. Eficiência energética em placas fotovoltaicas (Projeto Segue o Sol). **Revista Maiêutica**, v. 3, n. 1, p. 21-42, 2017.

PAVANI, D. R. **Estudos de eficiência energética aplicada à iluminação**. 2021. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP, 2021.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ª ed. São José dos Campos, SP: INPE, 2017.

PEREIRA, N. X. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. 2019. 86f. Dissertação (Mestrado em Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Campus Sorocaba, Sorocaba, SP, 2019.

POSSETI, L. F. **Análise de viabilidade econômica e financeira no ramo de queijos para inserção de novos produtos**. 2019. 93f. Dissertação. (Mestrado em Administração) – Universidade Estadual Paulista, Campus Jaboticabal, Jaboticabal, SP, 2019.

RABUSKE, R. et al. Análise da viabilidade para implantação de energia fotovoltaica com utilização para sombreamento de estacionamento. **Revista do CEPE**, n. 47, p. 36-48, 2018.

REBOUÇAS, D. A. et al. **Eficiência energética aplicada a instalação elétrica de uma residência**. 2022. 21f. Artigo (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBH), Cristiano Machado, MG, 2022.

RODRIGUEZ-UBINAS, E. et al. Energy efficiency evaluation of zero energy houses. **Energy & Buildings**, v. 83, p. 23-35, 2014.

ROSA, A. L. da. **Eficiência energética em painéis fotovoltaicos**. 2022. 15f. Artigo (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBH), Cristiano Machado, MG, 2022.

RÜTHER, R.; ZILLES, R. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1027-1030, 2011.

SAGBANSUA, L.; BALO, F. Ecological impact & financial feasibility of Energy Recovery (EIFFER) Model for natural insulation material optimization. **Energy and Buildings**, v. 148, p. 1-14, 2017.

SANTOS JÚNIOR, A. S. dos. et al. **Eficiência energética residencial**. 2015. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Faculdade Pitágoras, Belo Horizonte, MG, 2015.

SANTOS, E. P. **Mercado no Brasil para o uso de energias renováveis e ações de eficiência energética**. 2020, 131f. Dissertação (Mestrado em Pesquisas Energéticas e Nucleares) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2020.

SILVA, F. G. da. et al. Análise da eficiência energética de usinas fotovoltaicas ao longo de um dia. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 38157-38169, 2021.

SILVA, H. M. F.; ARAÚJO, F. J. C. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022.

SILVA, L. R. de. J. R.; SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. de. Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica, com levantamento de custos ambientais, aplicada ao Distrito Federal. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR*, 7., 2018, Gramado. **Anais** [...]. Gramado, RS: Associação Brasileira de Energia Solar, 2018.

SILVA, R. G.; CARMO, M. J. do. Energia solar fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética. **InterSciencePlace**, v. 12, n. 2, 2017.

SILVÉRIO, L. R. **Viabilidade de implantação de energia solar em indústrias de alimentos de Goiás**. 2021. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2021.

SILVERO, F. et al. The path towards buildings energy efficiency in South American countries. **Sustainable Cities and Society**, v. 44, p. 646-665, 2019.

SIQUEIRA, F. B. **Conflitos de usos múltiplos dos recursos hídricos e reservatórios hidrelétricos no Brasil**. 2021, 151f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2021.

SOLANGI, K. H. et al. A review on global solar energy policy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 2149-2163, 2011.

TAKAKI, K. A.; CASTRO, A. C. V. de. A aplicação de tecnologias sustentáveis em projetos arquitetônicos, com foco na eficiência energética e placas fotovoltaicas, estudo de caso com base nos indicadores do selo LEED e PROCEL edifica. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 38346-38366, 2022.

TAVARES, S.R.; SOUSA, N.G. Sistema de aquecimento solar de água: simulação e análise. **Rev. Bras. Cien., Tec. e Inov.**, v. 4, n. 1, p. 15-31, 2019.

TOKARIK, M. S.; RICHMAN, R. C. Life cycle cost optimization of passive energy efficiency improvements in a Toronto house. **Energy and Buildings**, v. 118, p. 160-169, 2016.

TOLEIKYTE, A.; KRANZL, L.; MÜLLER, A. Cost curves of energy efficiency investments in buildings – Methodologies and a case study of Lithuania. **Energy Policy**, v. 115, p. 148-157, 2018.

TORRE, P. Y. G.; ALVES, J. C. M.; CORRÊA, S. F. Análise de eficiência energética para indústria têxtil: um estudo de caso em uma empresa de Minas Gerais. **Revista Produção Online**, v. 18, n. 1, p. 238-264, 2018.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524-541, 2015.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1379-1392, 2018.

TRUONG, H.; GARVIE, A. M. Chifley Passive House: a case study in energy efficiency and comfort. **Energy Procedia**, v. 121, p. 214-221, 2017.

TUBELO, R. et al. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. **Building and Environment**, v. 133, p. 213-227, 2018.

VALE, A. M. et al. Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the Brazilian housing program "Minha Casa Minha Vida". **Energy Policy**, v. 108, p. 292-298, 2017.

VIEIRA FILHO, J. V. R. **Certificações de sustentabilidade em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. 2015. 116f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, 2015.

VILAÇA GOMES, P. et al. Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. **Energy Policy**, v. 115, p. 199-206, 2018.

WATANABE, E. Por um consumo consciente de energia elétrica. **Rio Pesquisa**, v. 9, n. 37, p. 47-49, 2019.

WEBER, F. S. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis, SC: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Núcleo de Pesquisa em Construção, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

ZURN, H. H. et al. Electrical energy demand efficiency efforts in Brazil, past, lessons learned, present and future: a critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 1081–1086, 2017.

GITMAN, Lawrence J.; JOEHNK, Michael D. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.