



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NA ILUMINAÇÃO
PÚBLICA DE CONTAGEM/MG**

Josiane Gonçalves Fonseca

**Belo Horizonte
2023**

Josiane Gonçalves Fonseca

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NA ILUMINAÇÃO
PÚBLICA DE CONTAGEM/MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Dr. Frederico Keizo Odan

Belo Horizonte
2023



ATA Nº 14 / 2023 - DCTA (11.55.03)

Nº do Protocolo: 23062.060964/2023-82

Belo Horizonte-MG, 12 de dezembro de 2023.

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

JOSIANE GONÇALVES FONSECA

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CONTAGEM-MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 11 de dezembro de 2023

Banca examinadora:

Nome completo do Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dsc. Frederico Keizo Odan - CEFET-MG - Orientador

Nome completo do 1º Examinador
Prof. MSc. André Luiz Marques Rocha - CEFET-MG

Nome completo do 2º Examinador
Prof. DSc. Daniel Brianezi - CEFET-MG

(Assinado digitalmente em 12/12/2023 13:02)
ANDRE LUIZ MARQUES ROCHA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matricula: 2143005

(Assinado digitalmente em 12/12/2023 11:38)
DANIEL BRIANEZI
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CEAMS (11.51.05)
Matricula: 2160001

(Assinado digitalmente em 12/12/2023 14:47)
FREDERICO KEIZO ODAN
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matricula: 2092847

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsf> informando seu número: 14, ano: 2023, tipo: ATA, data de emissão: 12/12/2023 e o código de verificação: 99213b7115

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me permitido chegar até aqui. Agradeço à minha mãe por seu amor incondicional, que me sustentou durante toda a minha jornada no CEFET. Agradeço ao meu orientador prof. Fred pela paciência, confiança, orientação e apoio sem os quais não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

GONÇALVES, JOSIANE FONSECA. **Proposta de utilização da energia solar na iluminação pública de Contagem/MG**. 2023. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

Nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica tem mostrado forte crescimento dentre as fontes renováveis em várias partes do mundo devido a diversos fatores: avanços tecnológicos que aumentaram a eficiência na captação da energia solar, bem como a diminuição nos custos de aquisição e instalação desse sistema. O presente estudo possui a finalidade de analisar os custos e potenciais benefícios do uso de energia solar na iluminação pública da cidade de Contagem localizada no estado de Minas Gerais através, da rede de distribuição de energia elétrica da Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição SA, CEMIG. Para atingir esse objetivo, foi realizado levantamento das informações necessárias para se dimensionar o sistema fotovoltaico, destacando-se o consumo de energia da iluminação pública e a irradiação solar recebida pela cidade. A partir desses dados, realizou-se o dimensionamento desse sistema e estimativa de custo dos principais componentes, bem como do tempo de retorno necessário do investimento a ser realizado. Em decorrência dos resultados obtidos observou-se que para compensar a energia necessária para alimentar todos os postes instalados na cidade de Contagem, foi proposto a instalação de 76.040 painéis fotovoltaicos com potência unitária de 550 W. O custo para o investimento do sistema fotovoltaico estimado foi de R\$ 173.747.686, com tempo de retorno de investimento de 91 meses. Quanto ao aspecto ambiental, conforme evidenciado na literatura, a análise do ciclo de vida, comparando esse sistema com fontes não renováveis, revelou-se que os gases do efeito estufa gerados na produção dos painéis seriam atenuados em período significativamente inferior a sua vida útil. Em outras palavras, após essa compensação, o sistema estaria gerando energia efetivamente sem geração desses gases. Concluiu-se que o uso de energia solar fotovoltaica na iluminação pública da cidade de Contagem é, não apenas economicamente viável, mas também representa uma escolha ambientalmente sustentável.

Palavras-chave: Iluminação Pública. Geração de energia. Painel fotovoltaico.

ABSTRACT

GONÇALVES, JOSIANE FONSECA. **Proposal to use solar energy in public lighting in of Contagem/MG.** 2023. 58 pages. Monograph (Graduation in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

In recent years, photovoltaic solar energy has shown strong growth among renewable sources in several parts of the world. The purpose of this study is to analyze the costs and potential benefits of using solar energy in public lighting in the city of Contagem located in the state of Minas Gerais through the electrical energy distribution network of Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição SA, CEMIG. To achieve this objective, data necessary for designing the photovoltaic system were collected, focusing on the energy consumption of public lighting and the solar radiation received by the city. Based on this information, the system was dimensioned, and cost estimates were made for the main components, as well as the necessary return on investment time. As a result of the results obtained, it was observed that to compensate for the energy needed to power all the poles installed in the city of Contagem, it was proposed to install 76,040 photovoltaic panels with a unit power of 550 W. The estimated cost for the investment of the photovoltaic system was R \$173,747,686, with a payback time of 91 months. Regarding the environmental aspect, as evidenced in the literature, the life cycle analysis, comparing this system with non-renewable sources, revealed that the greenhouse gases generated in the production of the panels would be attenuated in a period significantly shorter than their useful life. In other words, after this compensation, the system would effectively be generating energy without generating these gases. It was concluded that the use of photovoltaic solar energy in public lighting in the city of Contagem is not only economically viable, but also represents an environmentally sustainable choice.

Keywords: Public Lighting. Power generation. Photovoltaic panel.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Setor elétrico no Brasil	17
<i>3.1.1 Organização do setor</i>	<i>18</i>
<i>3.1.2 Agentes Operacionais do Setor Elétrico no Brasil</i>	<i>20</i>
<i>3.1.3 Matriz elétrica</i>	<i>20</i>
<i>3.1.4 Geração de energia</i>	<i>24</i>
3.1.4.1 Microgeração de Energia	24
3.1.4.2 Minigeração de Energia	25
3.1.4.3 Geração de Energia Centralizada	25
3.2 Energia fotovoltaica	26
<i>3.2.1 Conceitos básicos</i>	<i>27</i>
3.3 Sistemas fotovoltaicos	29
3.4 Iluminação Pública	30
<i>3.4.1 Origem da iluminação Pública</i>	<i>30</i>
<i>3.4.2 Iluminação pública na cidade de Contagem</i>	<i>32</i>
4 METODOLOGIA	34
4.1 Levantamento de dados	35
<i>4.1.1 Radiação Solar</i>	<i>35</i>
4.2 Análise do consumo de energia e custos	36
4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico	37
4.4 Análise da viabilidade econômica	40
<i>4.4.1 Prazo de retorno do investimento – PAYBACK</i>	<i>40</i>
<i>4.5 Análise dos benefícios econômicos e ambientais</i>	<i>40</i>
5 RESULTADOS	41
5.1 Estudo de Caso	41
5.2 Consumo energético e radiação solar	42
5.3 Dimensionamento do Sistema de Energia Fotovoltaico	43
<i>5.3.1 Dimensionamento dos Módulos</i>	<i>44</i>
5.4 Materiais e Custo	45
5.5 Análise da viabilidade econômica	45
5.6 Análise da viabilidade econômica	46

5.7 Análise dos benefícios econômicos e ambientais	47
6 CONCLUSÕES	50
7 RECOMENDAÇÕES	51
8 REFERÊNCIAS	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Matriz de produção de energia elétrica	21
Figura 3.2: Mapa do total anual de irradiação	22
Figura 3.3: Componentes do Sistema Off Grid e On Grid	28
Figura 4.1: Etapas da Metodologia	34
Figura 4.2: Ângulo de inclinação e orientação de uma placa solar	36
Figura 4.3: Componentes de uma usina solar	37
Figura 5.1: Irradiação solar diária	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Custo de dimensionamento da usina fotovoltaica	45
Tabela 5.2: Tempo de retorno de CO ₂ (<i>payback</i> de GEEs)	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica

ACL - Ambiente Contratação Livre

ACR - Ambiente Contratação Reguladora

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CEASA - Central de Abastecimento

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

CSME - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

EE - Eficiência Energética

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ESF - Energia Solar Fotovoltaica

EUA - Estados Unidos da América

GD - Gerações Distribuídas

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LED - Light Emitting Diodes

MME - Ministério de Minas e Energia

MW - Megawatt

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

PEE - Programa de Eficiência Energética

PIB - Produto interno bruto

SIN - Sistema Interligado Nacional

SPE - Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética

1 INTRODUÇÃO

A iluminação pública urbana transforma as ruas em locais mais acessíveis à noite. Assim, carros, motos, ônibus e pessoas podem circular nas ruas por mais tempo. Vias públicas bem iluminadas também oferecem maior sensação de segurança, contribuindo para o bem-estar da população, que necessita transitar a noite pelas vias.

A iluminação pública urbana é um serviço essencial para a população, se destaca pelo seu potencial de garantia e assegurar a qualidade de vida e segurança da população, devido as suas funcionalidades, como a facilitação e melhoria do tráfego de veículos e pedestres; segurança; incentivo a prática de esportes e lazer nas vias públicas; fomenta as atividades econômicas noturnas; valoriza os bens públicos; identifica e caracteriza a cidade através da vida noturna, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento da cidade (ABRASI, 2023).

Assim, observa-se que a iluminação pública é fundamental, visto que ela beneficia a população que necessita se deslocar à noite. Então, a população conta com o poder público para garantir a qualidade da iluminação pública, sendo que ela impacta diretamente na segurança e qualidade de vida da população, pois na penumbra os cidadãos se tornam mais vulneráveis, e suscetíveis a ações violentas, como assaltos, agressões, dentre outras.

No entanto, a manutenção da iluminação pública consome mais de 14 mil GWh de toda a energia elétrica produzida no Brasil, o que representa 2,82% de um total de cerca de 510 mil GWh contabilizado em 2022 (EPE, 2023).

Esse consumo de energia representa um impacto ambiental significativo, pois o Brasil, apesar de possuir uma das matrizes de energia elétrica mais limpas do mundo, 12,8% da energia produzida provém de fontes não renováveis, composta praticamente de combustíveis fósseis, como petróleo e derivados, gás natural e carvão (EPE, 2023).

De acordo com Bizerra, Queiroz e Coutinho (2018) os combustíveis fósseis são recursos naturais não renováveis que são formados por processos geológicos ao longo de milhões de anos a partir de restos de organismos vivos, principalmente plantas e animais, enterrados e submetidos a altas temperaturas e pressões. Esses combustíveis incluem petróleo, carvão

mineral e gás natural. Desempenharam um papel importante no desenvolvimento industrial e no crescimento econômico, mas também contribuíram significativamente para a emissão de gases de efeito estufa, o que acarreta impactos ambientais como o aquecimento global e a poluição do ar. Devido a esses impactos, há um interesse crescente em buscar alternativas mais sustentáveis de energia.

Uma forma de reduzir esses impactos ambientais seria utilizar fonte de geração renovável para suprir essa demanda de energia, a qual pode ser definida também como energia alternativa ou limpa, já que emitem menos gases do efeito estufa se comparados ao uso de os combustíveis fósseis (ALVIM *et al*, 2023).

Entre as fontes renováveis, destaca-se a geração de energia fotovoltaica, por se tratar de um processo altamente sustentável, uma vez que se utiliza de uma fonte limpa e abundante que é a luz do sol; o uso de energia solar acarreta na diminuição da emissão dos gases responsáveis pelo efeito estufa, oriundos da produção de energia elétrica, visto que a emissão desses gases é baixa durante o seu ciclo de vida.

Portanto, o uso da energia solar, é uma opção altamente viável, visto que a energia convencional oriunda das hidrelétricas gera impactos diversos, danosos ao meio ambiente, pois através da criação das barragens, os rios têm os seus cursos desviados, comprometendo a qualidade da água que pode ser utilizada para abastecimento das cidades e consumo humano, além de ocasionar o desmatamento e ainda afetam potencialmente as comunidades ribeirinhas.

Atualmente, existe uma preocupação do governo federal em promover a eficiência do uso da energia elétrica. Assim, através do Programa de Eficiência Energética (PEE), são realizadas pesquisas a fim de se descobrir novas aplicações eficientes para a utilização da energia elétrica, visando reduzir os custos através do descobrimento de novas tecnologias, sendo essas mais sustentáveis. Assim novos projetos são desenvolvidos e aplicados melhorando a eficiência energética do país (ANEEL, 2022).

De acordo com a ANEEL (2022) a Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE) é responsável pela regulamentação dos investimentos em Eficiência Energética (EE), e o acompanhamento da execução dos projetos e a avaliação de seus resultados.

Nos últimos tempos o serviço público de iluminação pública vem passando por grandes transformações institucionais, regulatórias e tecnológicas. Além do fator tecnológico e econômico, a qualidade do serviço é fundamental para responder em benefício da comunidade, principalmente no que se refere à segurança, ou seja, a sensação objetiva e subjetiva de um ambiente seguro. Este fator, inclusive, abarca diversos escopos, como a segurança no trânsito, e os índices de violência (BRASIL, 2023?).

Os projetos de iluminação pública promovem não apenas a melhoria dos níveis de iluminação das cidades, mas também a valorização com melhor utilização do espaço público, contribuindo para uso eficiente da energia e reduzindo a emissão de gases de efeito estufa e a poluição luminosa. Além disso, projetos de IP melhoram a percepção de segurança pelo cidadão - que beneficia principalmente grupos populacionais vulneráveis incluindo as mulheres - e promovem a inclusão de elementos de cidades inteligentes na dinâmica urbana (BRASIL, 2023?).

Assim, foi realizado um estudo para verificar o consumo de energia da cidade de Contagem no estado de Minas Gerais, visando analisar a demanda da cidade por energia, bem como tabular, os benefícios oriundos da utilização da energia solar na cidade através do uso do sistema de energia solar na iluminação pública da cidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de analisar os custos e potenciais benefícios do uso de energia solar na iluminação pública da cidade de Contagem no estado de Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento de dados para identificar potenciais benefícios econômicos e ambientais, com a utilização da energia solar;
- Levantar dados de consumo e custos com energia elétrica na iluminação pública no município estudado;
- Analisar o *payback* simples através da energia proporcionada pelo sistema de energia solar, face o investimento necessário para implementação do sistema.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção expõe as referências bibliográficas em que esse trabalho se baseia para o andamento investigativo e para as etapas de análise e de implementação. Assim, as leis, resoluções e normas técnicas que dão base e regulam as instalações em área residencial são expostas. Como também os modelos que serão utilizados para os cálculos de energia solar e de projeção de custos, assim como a teoria envolvida nas instalações elétricas ligadas à rede.

3.1 Setor elétrico no Brasil

O setor elétrico no Brasil é essencial para a economia e desenvolvimento do país. Ele é formado por várias empresas, tanto estatais quanto privadas, que atuam na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

A geração de energia no Brasil é feita por meio de várias fontes, como hidrelétricas, termelétricas, eólicas, solares, biomassa, entre outras. No entanto, a matriz energética brasileira é predominantemente hidrelétrica, o que torna o país bastante dependente das condições climáticas para a produção de energia (LORENZO, 2023).

Segundo Infográfico de dezembro da ABSOLAR (2023), o estado de Minas Gerais lidera a geração de energia fotovoltaica centralizada, com capacidade outorgada de 42,7 GW, cerca de 30% do potencial outorgado nacional de 144,5 GW. Em termos de geração de energia distribuída, ocupa a 2ª posição, com 3,3 GW, cerca de 13,4% do potencial nacional de 24,9 GW (ABSOLAR, 2023).

Minas Gerais, possui, um grande potencial de geração de energia solar fotovoltaica, concentrando essa geração em seis microrregiões do estado. Sendo que, uma delas abrangem o Norte, onde o sol era considerado o motivo de escassez e prejuízo para a região, porém atualmente, o local é visto como grande área atrativa para investidores em energia solar (ESTADO DE MINAS, 2018).

Uma menção importante, exemplo de uso da energia solar é o estádio do Mineirão, situado na capital mineira em Belo Horizonte, onde foi instalada uma usina solar fotovoltaica com

capacidade instalada de 1,3 MW, considerada a maior do mundo acoplada na cobertura de um estádio a época em que foi construída (CEMIG, 2023?).

Logo, o Brasil apresenta um potencial elevado na incidência de irradiação solar, em especial o estado de Minas Geais, motivo pelo qual, tem sido escolhido para a instalação de diversas usinas solares fotovoltaicas.

Assim, considerando o potencial que o Brasil para geração de energia solar, é possível realizar a transmissão da energia gerada através de um sistema de linhas de transmissão, que conectam as usinas geradoras às subestações distribuidoras. Já a distribuição é feita pelas concessionárias de energia, que levam a energia até os consumidores finais, sendo responsáveis pela manutenção da rede elétrica e pelo atendimento aos clientes.

Além disso, o setor elétrico também é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece as regras e tarifas para a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2022).

O setor elétrico no Brasil enfrenta desafios como a necessidade de diversificar a matriz energética, reduzir a dependência de hidrelétricas e investir em fontes renováveis de energia. Também há a necessidade de modernizar a infraestrutura elétrica do país, expandir a capacidade energética e garantir o acesso à energia para toda a população (PIRES, 2023).

3.1.1 Organização do setor

O setor energético no Brasil é organizado de forma integrada e regulamentada pelo governo federal. Possuindo a responsabilidade do planejamento estratégico do setor, regulação, operação e as demais premissas necessárias para a garantia do suprimento de energia elétrica do país. Ao todo, são sete órgãos que realizam a gestão das políticas públicas deste setor. Assim, cada uma dessas instituições possuem uma competência, então vejamos:

ANEEL - A Agência Nacional de Energia Elétrica é uma autarquia federal responsável por regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no país (ANEEL, 2023).

CCEE - A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica é uma instituição privada e sem fins lucrativos que viabiliza a comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), que é o conjunto de geradoras, transmissoras, distribuidoras e consumidores do país (CCEE, 2023).

CNPE - O Conselho Nacional de Política Energética, órgão criado em 1997 para assessorar o Presidente da República na formulação de políticas e diretrizes do setor (CNPE, 2023).

MME - O Ministério de Minas e Energia é o órgão do poder executivo para a formulação e implementação de políticas públicas do setor. Sua área de competência engloba o aproveitamento de recursos, as diretrizes tarifárias e o equilíbrio de oferta energética no país (MME, 2023).

CSME - O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico acompanha e avalia a segurança do suprimento eletroenergético no Brasil (CSME, 2023).

EPE - A Empresa de Pesquisa Energética é um órgão público federal responsável por desenvolver estudos que dão sustentação técnica às decisões do MME. A EPE tem gestão independente, para assegurar que os resultados e conclusões de suas pesquisas não sofram interferência política e orientem corretamente o desenvolvimento do setor elétrico brasileiro (EPE, 2023).

ONS - O Operador Nacional do Sistema Elétrico empresa privada sem fins lucrativos que planeja, opera e controla a geração e transmissão de energia no SIN (ONS, 2023).

Além dos órgãos reguladores, o setor energético brasileiro conta com diversas empresas estatais e privadas que atuam na geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, petróleo, gás natural e biocombustíveis.

O setor energético brasileiro passa por um processo de transição, com crescente participação de fontes renováveis, como hidrelétrica, eólica, solar e biomassa, visando reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais.

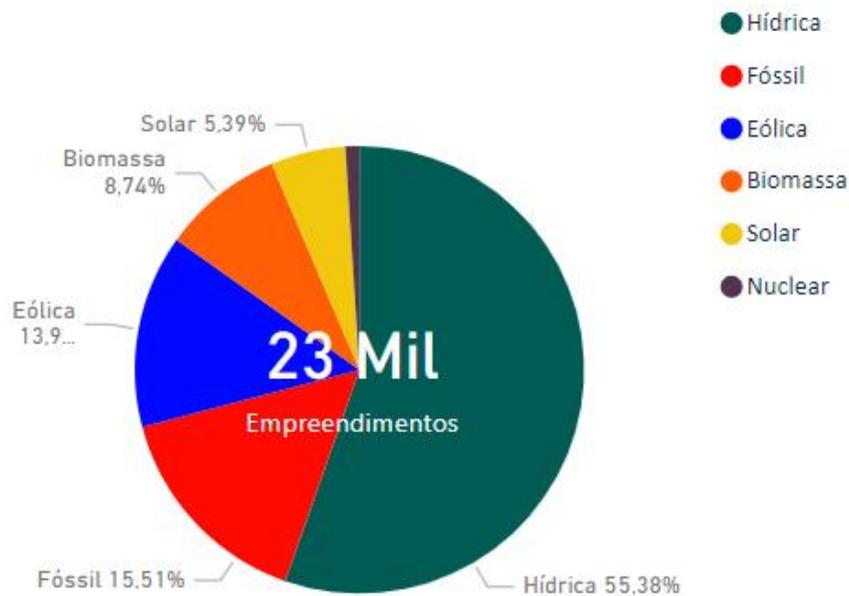
3.1.2 Agentes Operacionais do Setor Elétrico no Brasil

Segundo a ONS (2021) os agentes operacionais são as empresas que atuam no setor de energia elétrica e são divididos nas categorias de Geração, Distribuição, Comercialização, Consumidores Livres e Especiais, conforme definido na Convenção de Comercialização. Os principais agentes do setor são:

- Agente de Geração: A geração de energia é um agente que vem passando por várias mudanças durante os anos, desde a chegada da eletricidade no Brasil. Atualmente a geração é responsável pela produção da energia, inserindo - a nos meios de transmissão, que serão distribuídos pelos agentes de geração dentro do ambiente cativo ou livre (HECK; LIMA, 2022).
- Agente de transmissão: Transmitir energia através dos sistemas de alta tensão para os grandes centros de consumo. Logo, o sistema de transmissão conduz a energia proveniente das usinas geradoras e entrega as redes de distribuição até que chegue ao consumidor final (ABRADEE, 2021).
- Agente de Distribuição: Sistema responsável por diminuir a tensão da energia elétrica oriundo dos sistemas de transmissão e distribuir a energia elétrica ao consumidor final, que se divide em: grandes, médios e pequenos consumidores (ABRADEE, 2021).
- Comercialização: É a possibilidade de comercializar a energia elétrica com livre tema Interligado Nacional, concorrência ou de forma quantitativos pré-determinados pelo poder público. Ambas as formas dentro do Sistema Interligado Nacional (SIN) são operados pela CCEE e regulamentados pela ANEEL (BRAGA, 2018).

3.1.3 Matriz elétrica

Atualmente o Brasil possui uma matriz energética diversificada, sendo que a maior parte da energia é de origem das fontes renováveis energia hidrelétrica, biomassa e energia eólica (EPE,2023). Na Figura 3.1, tem-se a composição da matriz de produção de energia elétrica brasileira, por origem das fontes. Observa-se que a maior parte dos empreendimentos que fazem matriz elétrica do Brasil é de origem renovável, 83,4%, com destaque para a hidroeletricidade, que corresponde 55,38% de toda a potência instalada no país.

Figura 3.1: Matriz de produção de energia elétrica

Fonte: ANEEL (2023)

Fontes de energia são recursos naturais ou tecnologias que fornecem energia utilizável para diferentes fins. Essas fontes podem ser divididas em fontes de energia não renováveis (combustíveis fósseis e energia nuclear), são aquelas que têm uma quantidade limitada na natureza e não podem ser recuperadas em um curto período de tempo. As fontes de energia renováveis (hídrica, solar, eólica), são aquelas que podem ser naturalmente reabastecidas e não se esgotam (SILVA; CARMO, 2017).

Energia eólica

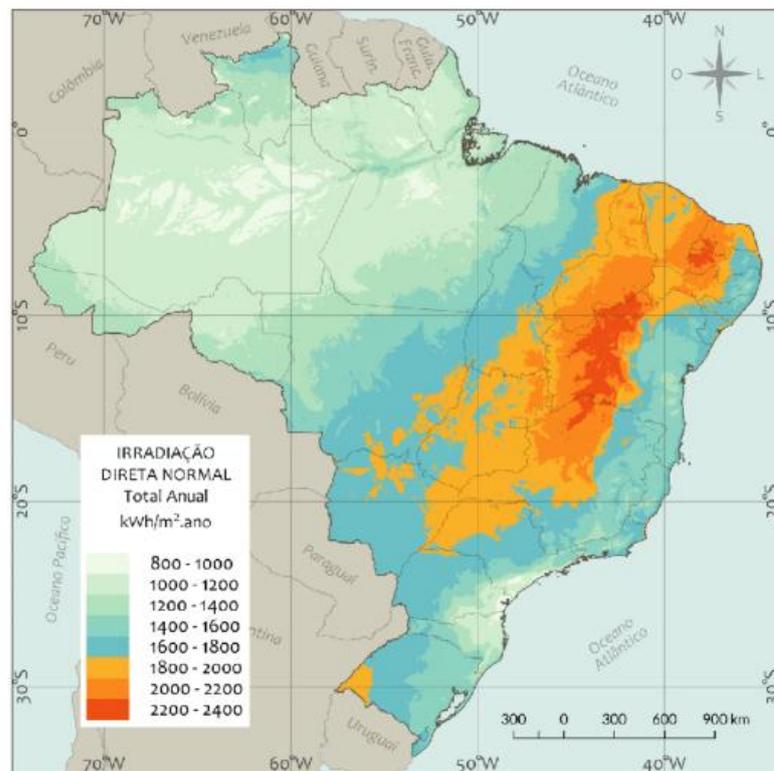
A energia eólica no Brasil tem crescido significativamente nos últimos anos, sendo a sexta maior matriz energética do Brasil. O país possui um dos maiores potenciais eólicos do mundo, principalmente nas regiões nordeste e sudeste, onde se encontram mais de 600 parques eólicos em fase de operação (SAMPAIO; BATISTA, 2021).

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica — ABEEólica (2020), a estimativa é que o setor continue se desenvolvendo com a retomada dos leilões de energia, nos quais são contratadas novas usinas eólicas. A energia eólica tem se mostrado uma fonte competitiva, com preços cada vez mais baixos.

Energia solar

A energia solar é aquela energia obtida a partir da luz e do calor do sol. A energia solar no Brasil representa 5,39% da matriz energética (ANEEL, 2023). Nos últimos três anos a energia solar centralizada (gerada por grandes usinas) teve um crescimento de 200% e a solar distribuída (pequenas centrais de geração) foi de 2.000%. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, nos últimos três anos, o crescimento da energia solar centralizada foi de 200%, enquanto a solar distribuída passou de 2.000%. Segundo o Ministério de Minas e Energia, só em 2020, a capacidade instalada em energia solar fotovoltaica cresceu 66% no país.

Figura 3.2: Mapa do total anual de irradiação



Fonte: CRESESB (2017)

Energia Hidrelétrica

A energia hidrelétrica no Brasil é uma forma de geração de energia obtida a partir do aproveitamento do fluxo das águas, como rios e quedas d'água. O país possui um grande potencial hidráulico que ocorre de maneira natural, aproveitando os desníveis existentes na natureza. Para produzir energia hidrelétrica, geralmente são construídas barragens para acumular a água em reservatórios ou desvio dos rios de seus leitos naturais. Essa água é, então, liberada através de turbinas e geradores, convertendo a energia cinética da água em energia elétrica (GATTI, 2018).

A energia hidrelétrica é a principal fonte de energia elétrica no Brasil, responsável por aproximadamente 55,38% da produção total. Algumas das maiores usinas hidrelétricas do país são Itaipu, Belo Monte, Tucuruí e Ilha Solteira. No entanto, a construção de usinas hidrelétricas também pode impactar o meio ambiente, como o desmatamento de áreas para a formação de reservatórios e o deslocamento de comunidades locais (MORAIS, 2015).

Energia Térmica

A energia térmica no Brasil é um método de geração de energia que utiliza o calor gerado pela queima de combustíveis fósseis, como carvão, óleo diesel e gás natural, ou biomassa, para mover turbinas e gerar eletricidade (MORAIS, 2015). Segundo a ANEEL (2023), corresponde a 24,25% da matriz energética.

Energia Nuclear

A energia nuclear no Brasil é uma fonte de energia gerada através da fissão nuclear, processo no qual os átomos de urânio enriquecido sofrem uma reação em cadeia, liberando uma grande quantidade de energia. No Brasil, a energia nuclear é utilizada principalmente para a geração de eletricidade em usinas nucleares, como Angra 1 e Angra 2, localizadas no Rio de Janeiro. Além disso, o país também possui a Usina de Enriquecimento de Urânio, em Resende, responsável por fornecer o combustível nuclear para as usinas. A energia nuclear é considerada uma fonte de energia limpa e sustentável, mas também apresenta riscos e desafios relacionados à segurança e ao gerenciamento de resíduos nucleares (PEREIRA, 2013).

3.1.4 Geração de energia

A geração de energia no Brasil é composta por diversas fontes, incluindo hidrelétricas, térmicas, eólicas, solares e biomassa.

3.1.4.1 Microgeração de Energia

A microgeração de energia elétrica é inerente à produção de energia elétrica em pequena escala, geralmente por meio de fontes de energia renovável, como energia solar, eólica, hidráulica ou biomassa. Nesse contexto, a microgeração permite que indivíduos, residências, empresas e comunidades gerem parte ou toda a energia elétrica que consomem, apoiando sua dependência da rede elétrica convencional e confiante para a sustentabilidade energética.

Em 17 de abril de 2012 através da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, os brasileiros foram autorizados a produzir a sua própria energia elétrica utilizando recursos renováveis ou através da cogeração qualificada (ANEEL, 2023).

O texto de Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, no artigo 1º, inciso XI, estabelece que:

microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (BRASIL, 2022). A Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022 foi revogada pela Resolução Normativa ANEEL Nº 1.059, de 2023.

Ainda, a microgeração pode ser integrada de diferentes maneiras, dependendo da fonte de energia utilizada, sendo as mais comuns: energia solar, energia eólica, energia hidráulica e biomassa.

De acordo com Oliveira (2020) a microgeração de energia elétrica oferece diversas vantagens, tais como: matriz energética mais sustentável, diversificação da matriz energética, aproveitamento mais eficiente dos recursos naturais disponíveis, melhor eficiência energética dos empreendimentos, considerável redução nas perdas por transmissão de energia.

3.1.4.2 Minigeração de Energia

A minigeração de energia refere-se à produção de eletricidade em pequena escala, geralmente em níveis inferiores a 1 MW (megawatt), por meio de fontes de energia renováveis ou convencionais, tais como: energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. É uma forma de geração distribuída, em que a energia é produzida localmente e pode ser consumida no local de geração ou alimentada na rede elétrica, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (CEMIG, 2012).

Assim define-se a minigeração distribuída como:

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, que utilize fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (CEMIG, 2012).

Assim, a Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022, no artigo 1º, inciso XIII, estabelece que:

minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (BRASIL, 2022).

Logo, a minigeração de energia contribui para a redução da emissão de gases do efeito estufa ao utilizar fontes renováveis, reduzir as perdas energéticas no transporte, aumentar a eficiência energética e diminuir a dependência da rede elétrica convencional baseada em fontes fósseis.

3.1.4.3 Geração de Energia Centralizada

Na geração Centralizada, engloba-se as usinas de maiores portes, ou seja, aquelas que produzem acima de 5 MW. A comercialização dessa energia se dá de duas maneiras: seja através do Ambiente Contratação Livre (ACL) ou no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) (ABSOLAR, 2023).

Assim, os preços são negociados e estabelecidos diretamente entre as partes, através da ACL, participando tanto as geradoras, comercializadoras, consumidores livres e especiais das transações (ABSOLAR, 2023).

As negociações realizadas através da ACR, são efetivadas através de leilões de energia elétrica, em que as regras são estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia (MME), juntamente com a ANEEL que procede a estruturação das cláusulas contratuais, e ainda a participação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) que realiza os mecanismos da licitação (ABSOLAR, 2023).

A geração de energia centralizada possui algumas vantagens, como a capacidade de atender a grandes demandas de eletricidade, maior eficiência em termos de custo e escala, e possibilidade de utilizar diferentes fontes de energia para diversificar a matriz energética. No entanto, também apresenta desafios, como a transmissão e distribuição da eletricidade em longas distâncias, a dependência de combustíveis fósseis não renováveis em tecnologias e a necessidade de infraestrutura de grande porte (MATOS; CATALÃO, 2023).

No entanto, também existem desvantagens, como a necessidade de longas linhas de transmissão para distribuir a eletricidade, o que pode resultar em perdas de energia. Além disso, algumas fontes de energia centralizadas são poluentes e contribuem para as emissões de gases de efeito estufa (MATOS; CATALÃO, 2023).

Assim, a transição para uma matriz energética mais diferenciada, tem impulsionado o desenvolvimento de fontes de energia renovável, com uma combinação de geração centralizada e descentralizada, permitindo a maior participação dos consumidores na geração de eletricidade, sendo uma tendência importante para aumentar a resiliência energética, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade ambiental.

3.2 Energia fotovoltaica

Nesta seção irá tratar de conceitos muito importantes para a compreensão do estudo apresentado, tais como, alguns conceitos utilizados nos sistemas de energia fotovoltaica que, irão contribuir direcionando a pesquisa inerente ao uso da energia solar na iluminação pública da cidade de Contagem.

3.2.1 Conceitos básicos

A energia solar fotovoltaica (ESF) é um tipo de energia renovável que utiliza a luz do sol para gerar eletricidade. Ela é obtida através das células fotovoltaicas, que são dispositivos semicondutores específicos que convertem diretamente a luz solar em eletricidade. Essas células são geralmente feitas de silício e possuem camadas de materiais com cargas positivas e negativas. Quando a luz do sol incide sobre a célula fotovoltaica, ocorre uma reação química que cria um fluxo de elétrons, gerando assim a corrente elétrica (SILVA; CARMO, 2017).

O fornecimento de energia solar é realizado de duas formas: através da Energia Fotovoltaica Distribuída e Energia Fotovoltaica Centralizada. De acordo com Bortoloto et al. (2017), há dois tipos de operações relacionadas à geração distribuída: *off-grid* e *on-grid*. No sistema de geração centralizada, a energia é fornecida por parques solares de grande porte, responsáveis pelo fornecimento da ESF (PEREIRA, 2019).

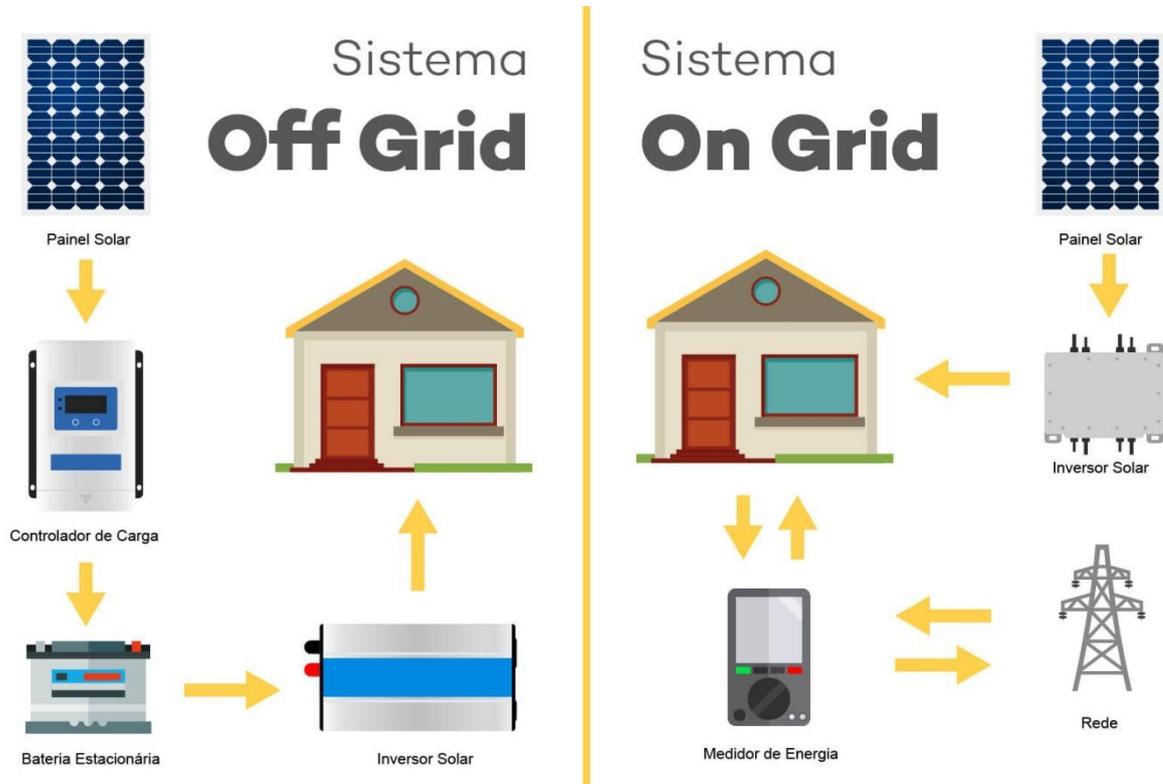
Segundo Bortoloto et al., (2017) os sistemas *off-grid* são sistemas isolados e autônomos de geração de energia solar que usam baterias conectadas e servem como dispositivos de armazenamento de energia. Neste sistema, o controlador de carga evita o excesso de carga energética nas baterias, o banco de baterias armazena a energia excedente e o inversor converte a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) (ALVES, 2019).

Pode ser observado na Figura 3.3 abaixo os componentes existentes em cada tipo de sistema.

Os sistemas *on-grid*, são conectados diretamente à rede elétrica. Neste sistema, o inversor solar além de exercer a função de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) tem a função também de sincronizar o sistema com a rede pública (PEREIRA, 2019).

Esses créditos de energia são compensados através da conta de energia elétrica, recebida pelos consumidores mensalmente, e são medidos em quilowatts-hora. Assim, mesmo que não sejam utilizados no mesmo em que foram gerados, esses créditos podem ser descontados, nas próximas contas de energia, pois possuem a validade de 60 meses para serem compensados (ANEEL, 2023).

Figura 3.3: Componentes do Sistema *Off Grid* e *On Grid*



Fonte: Neosolar (2023)

De acordo com Scherer, Sessegolo, Barcarolo e Edler (2023) a geração de ESF, pode-se destacar algumas vantagens sobre a energia fotovoltaica: é uma fonte de energia limpa, não emite gases de efeito estufa durante a geração. Além disso, a luz solar é uma fonte inesgotável de energia, disponível em grande parte do planeta. A instalação de sistemas fotovoltaicos pode reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis e, em muitos casos, gerar economia financeira por meio da redução das contas de energia elétrica.

A energia fotovoltaica pode ser utilizada em diversas aplicações, tais como: em residências, pode ser instalado para suprir parte ou totalidade da demanda de energia elétrica. Em empresas e motores, pode ser integrado ao sistema elétrico para reduzir os custos operacionais. Além disso, os sistemas fotovoltaicos podem ser implementados em áreas remotas ou isoladas, onde não há acesso à rede elétrica convencional, para fornecer eletricidade autossuficiente.

3.3 Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas solares fotovoltaicos, usualmente denominado de sistemas de energia solar, são aqueles que geram energia elétrica através da radiação emitida pelo Sol (SOLAR, 2023).

A energia solar fotovoltaica acontece através do choque das partículas de luz solar (fótons) com os átomos de silício pertencentes ao módulo de energia solar. Assim, devido ao choque, os elétrons se deslocam gerando corrente elétrica, ou simplesmente a denominada ESF (SOLAR, 2023).

Assim, os principais integrantes do sistema fotovoltaico são: módulos solares, materiais elétricos, estrutura/suporte, inversores, controladores de carga e baterias (SOLAR, 2023).

Sobre energia fotovoltaica, pode-se destacar:

- **Funcionamento:** Os painéis solares são compostos por células fotovoltaicas feitas de materiais semicondutores, geralmente o silício. Quando os fótons da luz solar atingem essas células, eles excitam os elétrons, gerando uma corrente elétrica contínua. Essa corrente é então transformada em corrente alternada por um inversor, tornando-a adequada para uso doméstico ou comercial (SOLAR, 2023).
- **Aplicações:** A energia fotovoltaica pode ser usada em diversas aplicações, desde sistemas residenciais e comerciais de geração de energia até projetos de grande escala, como usinas solares. Além disso, ela pode ser integrada a redes elétricas existentes ou usadas de forma autônoma em regiões remotas (SOLAR, 2023).

A energia fotovoltaica apresenta algumas vantagens, dentre elas:

- **Fonte Renovável:** A energia fotovoltaica utiliza uma fonte de energia renovável e abundante, o sol, portanto uma fonte limpa que colabora para mitigar as mudanças climáticas (COUTINHO, 2023).
- **Baixa manutenção:** Os sistemas fotovoltaicos exigem pouca manutenção, sendo necessária apenas a limpeza regular dos painéis solares para garantir a eficiência (GOMES, 2023).

- Redução de custos: A geração de energia fotovoltaica pode reduzir a dependência de energia elétrica da rede pública, gerada em economia nas contas de eletricidade (GOMES, 2023).
- Longa Vida Útil: Os painéis solares têm uma vida útil longa, geralmente com garantias de 25 anos ou mais, e podem continuar produzindo energia mesmo após esse período (GOMES, 2023).
- Modularidade: Os sistemas fotovoltaicos são modulares, o que significa que podem ser dimensionados de acordo com as necessidades e o espaço disponível. Eles podem ser facilmente expandidos ou modificados no futuro (GOMES, 2023).

Alguns desafios inerentes a energia solar:

- Investimento alto: Embora os custos de energia fotovoltaica tenham diminuído ao longo dos anos, o investimento inicial para a instalação de um sistema pode ser alto (GOMES, 2023).
- Variação do clima: A geração de energia fotovoltaica depende da disponibilidade de luz solar, o que significa que a produção de eletricidade pode variar ao longo do dia, estações do ano e condições climáticas (GOMES, 2023).

A energia fotovoltaica desempenha um papel cada vez mais importante na energética global, esperançosa para em uma matriz que visa à redução das emissões de gases de efeito estufa e transição para um sistema energético mais sustentável. A sua adoção tem sido aceita devido à sua viabilidade econômica e benefícios ambientais.

3.4 Iluminação Pública

3.4.1 Origem da iluminação Pública

De acordo com Rosito (2009) a evolução da iluminação pública está ligada à utilização da iluminação natural e artificial. Antigamente já havia indícios de uso da iluminação artificial por meio da utilização de óleo.

De acordo com ROSITO *et al*, (2009) a origem da iluminação pública data de 1415 na Inglaterra, por solicitação de comércios, que pediram alguma providência a fim de coibir crimes e violência. Em 1662, Paris foi a cidade que contemplou um sistema público de

iluminação, com luminárias com pavio embebido em azeite e velas comuns de cera, sendo pioneira neste serviço.

Segundo Santana (2010) no ano de 1762 a administração da cidade de Nova York instituiu um tributo para que a população pudesse contribuir com os serviços de instalação de lampiões, e a manutenção e consumo de óleo. Por fim, em 1879, nos EUA foram instaladas as primeiras lâmpadas elétricas para atendimento à Iluminação Pública.

A invenção da lâmpada elétrica por Thomas Edison em 1879 marcou um marco importante na história da iluminação pública. Através do desenvolvimento das lâmpadas incandescentes, elas foram utilizadas em postes de iluminação pública, proporcionando uma fonte de luz mais brilhante, durável e eficiente. A eletricidade começou a ser utilizada como fonte de iluminação nas ruas, substituindo gradativamente as lâmpadas a gás. A eletrificação das cidades permitiu a instalação de redes elétricas para fornecer energia para iluminação pública em larga escala, assim, muitas cidades ao redor do mundo começaram a adotar a iluminação elétrica nas ruas (MORTATI, 2013).

Já com o avanço da tecnologia, as Lâmpadas de descarga, como as Lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio e vapor de metal halogenado, foram projetadas na iluminação pública. Essas lâmpadas oferecem maior eficiência energética e maior durabilidade em comparação com as lâmpadas incandescentes.

Assim, nas últimas décadas, houve uma transição significativa para o uso de tecnologia LED na iluminação pública. Como as lâmpadas de LED são altamente eficientes, têm uma vida útil longa e oferecem uma qualidade de luz superior. Essa tecnologia revolucionou a iluminação pública, fornecendo economia de energia significativa e maior controle sobre a iluminação.

Nas últimas décadas, houve uma transição para tecnologias mais eficientes, como as lâmpadas de descarga de alta intensidade, como as lâmpadas de vapor de mercúrio, sódio e, mais recentemente, os LEDs (*Light Emitting Diodes*). Os LEDs têm se mostrado uma opção mais eficiente, duradoura e sustentável para iluminação pública, oferecendo economia de energia significativa e maior vida útil (FARIA, 2023).

Atualmente, a iluminação pública é um aspecto essencial das cidades, proporcionando segurança, conforto e estética nas áreas urbanas. As tecnologias continuam evoluindo, com foco na eficiência energética, na redução do impacto ambiental, custos operacionais, e no uso de fontes de energia renovável, como a energia solar (FARIA, 2023).

3.4.2 Iluminação pública na cidade de Contagem

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, por meio da Resolução Normativa nº 414/2010, determinou que as distribuidoras e concessionárias de energia elétrica devem transferir os ativos de iluminação pública, isto é, luminárias, lâmpadas, relés, reatores, às prefeituras (ANEEL, 2010).

A iluminação pública na cidade de Contagem, em Minas Gerais, é responsabilidade da Prefeitura Municipal, por meio da Secretaria de Obras e Serviços Urbanos, ou de um órgão específico designado para esse fim. O objetivo da iluminação pública é proporcionar segurança, visibilidade e conforto aos moradores, além de contribuir para a estética e valorização das áreas urbanas.

O sistema de iluminação pública da cidade de Contagem, conta hoje com 54.470 postes, sendo que até abril de 2023, 84,42% das lâmpadas de vapor de sódio e de mercúrio foram substituídas por lâmpadas de LED (CONTAGEM, 2023).

A iluminação pública desempenha um papel importante no ambiente urbano, oferecendo visibilidade nas ruas, praças, parques e demais espaços públicos durante a noite. Alguns aspectos relevantes sobre a iluminação pública em Contagem incluem:

A definição dos pontos de iluminação, a escolha das luminárias e das lâmpadas a serem utilizadas, a distribuição dos postes de iluminação e a infraestrutura elétrica são elementos essenciais no planejamento e projeto da iluminação pública (CONTAGEM, 2023).

A manutenção regular das luminárias, a substituição de lâmpadas queimadas, a verificação e o reparo de problemas elétricos são atividades que garantem o bom funcionamento do sistema de iluminação pública (CONTAGEM, 2023)

A adoção de tecnologias mais eficientes, como lâmpadas LED, pode contribuir para a redução do consumo de energia e dos custos de operação (CONTAGEM, 2023)

O planejamento de expansão da rede de iluminação pública, a instalação de novos pontos de luz em áreas não atendidas e realização de melhorias na iluminação de vias e espaços públicos são considerações importantes para atender às demandas da população (CONTAGEM, 2023).

Assim, a iluminação pública na cidade de Contagem é uma questão de responsabilidade da prefeitura. Um planejamento adequado, a manutenção regular, o uso de tecnologia eficiente, a consideração da sustentabilidade e o envolvimento dos cidadãos são aspectos importantes a serem considerados para garantir uma iluminação pública eficiente e de qualidade na cidade.

4 METODOLOGIA

O processo metodológico utilizado na presente pesquisa teve abordagem quantitativa, caráter descritivo, feita através de um estudo de caso, tendo como análise a iluminação pública do município de Contagem MG.

A revisão bibliográfica compreendeu consultas a livros, normas técnicas e artigos científicos publicados por pesquisadores de Universidades e Centros de Pesquisas, autores de estudos e pesquisas relacionadas com a viabilidade da utilização da energia solar na iluminação pública de cidades.

A pesquisa foi realizada utilizando os dados e informações da cidade de Contagem/MG, e foi dividida em 5 etapas, conforme Figura 4.1.

Figura 4.1 – Etapas da Metodologia



Fonte: Autora (2023)

4.1 Levantamento de dados

A primeira etapa consistiu na busca das fontes para obtenção dos dados necessários para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico:

- Consumo de energia;
- Potencial da energia solar;
- Informações dos sistemas fotovoltaicos a serem escolhidos;
- Dados socioambientais.

Cada uma dessas informações é apresentada nas próximas seções da metodologia.

4.1.1 Radiação Solar

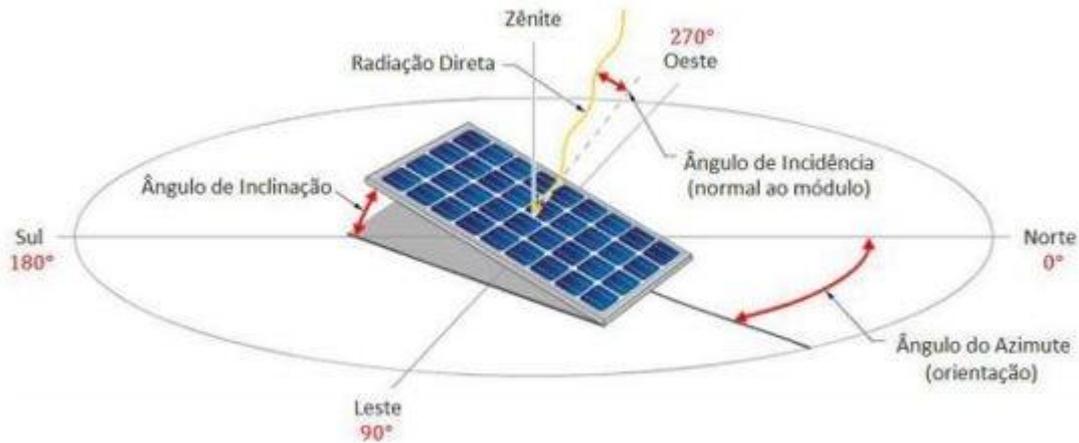
A estimativa da radiação solar é necessária para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Essa estimativa pode ser realizada utilizando as informações do sistema Sundata do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRSESB), vinculado ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), que calcula a irradiação solar diária média mensal de qualquer localidade nacional, a partir das coordenadas geográficas informadas; utilizando como base para geração de dados, o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o CENSOLAR, dados do departamento de Engenharia Mecânica da EE/UFMG, dentre outros (CRESESB, 2023).

Com base nas informações do CRESESB (2023) obtêm-se a estimativa dos índices de irradiação solar ao longo dos meses, os quais variam o ângulo de inclinação com o plano horizontal, bem como ângulo em relação aos pontos cardinais, como pode ser observado na Figura 4.2. A escolha desses ângulos visa maximizar o aproveitamento do sistema para geração de energia elétrica oriunda da captação da luz solar, em que se recomenda utilizar o ângulo de inclinação próximo ao ângulo da latitude, de modo que haja menos reflexão da irradiação solar incidente sobre as placas, e conseqüentemente, haverá maior aproveitamento da energia solar.

O valor do ângulo geralmente utilizado nos projetos é o mesmo da latitude local (CRESESB, 2023). Os valores a serem utilizados para o cálculo da energia gerada são os apresentados na coluna onde apresenta a inclinação de 20°, que é a que mais se aproxima da latitude da área. Com isso, para o cálculo da estimativa de geração de energia do sistema fotovoltaico, foi

utilizado o valor referente ao ângulo igual ao da latitude, que corresponde ao valor médio de $5,37\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1})$, conforme mostra a Figura 4.2 apresentada acima.

Figura 4.2: Ângulo de inclinação e orientação de uma placa solar



Fonte: Neosolar (2023?)

Antes de calcular a quantidade efetiva de painéis solares, é necessário o cálculo da quantidade de horas com irradiação solar acima de $1\text{ kWh}/\text{m}^2$. Para tanto, é necessário considerar o número de horas, utilizando a irradiação solar diária média de acordo com a equação (4- 1):

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de horas de sol (Nsol)} &= (\text{irradiação média } 1 \text{ kW.h}/\text{m}^2) / (1 \text{ kW}/\text{m}^2) \\ &= h \text{ (hora)} \end{aligned} \quad (4- 1)$$

4.2 Análise do consumo de energia elétrica e custos

Como parte das informações necessárias ao dimensionamento do sistema fotovoltaico, é necessário obter qual o consumo de energia elétrica do sistema de iluminação pública de Contagem, para que o sistema dimensionado tenha potencial suficiente para suprir essa demanda.

Foram obtidos dados do consumo de energia elétrica desse setor diretamente da Prefeitura Municipal de Contagem, na Secretaria Municipal de Obras de Iluminação, referente ao ano de 2022 (CONTAGEM, 2023).

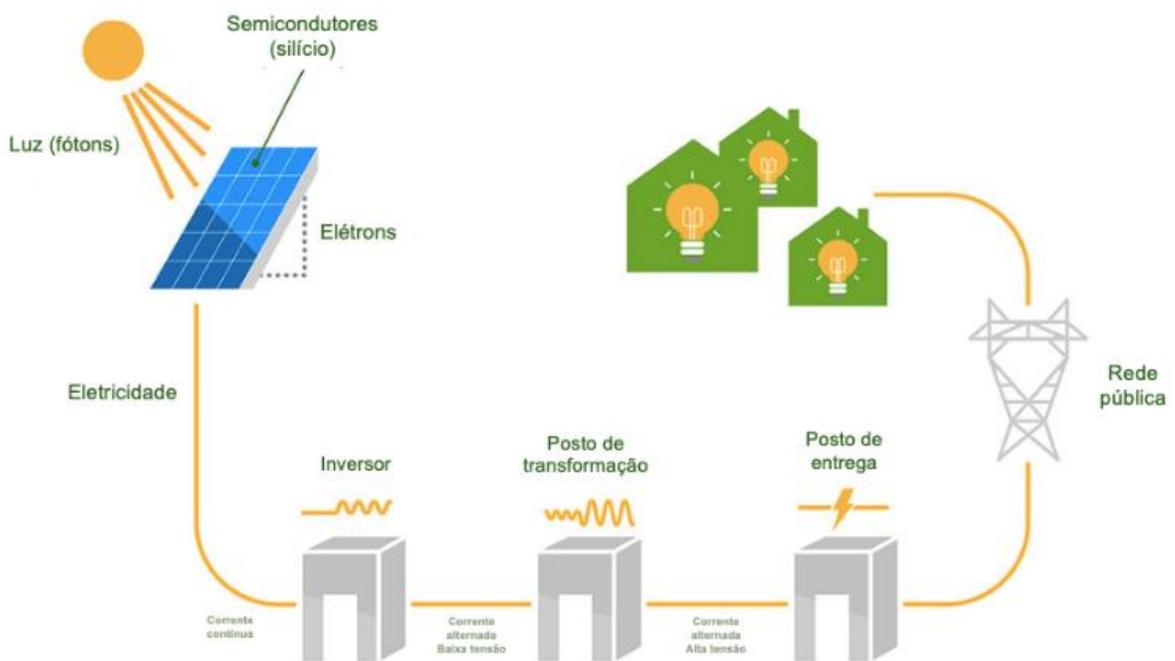
É importante destacar que o valor despendido para a iluminação pública depende da tarifa de energia cobrada pela concessionária, que depende do setor e grupo em que este está classificado (CEMIG, 2023)

4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Os componentes necessários para a conversão direta de luz solar em energia elétrica, são chamados de células fotovoltaicas (BRAGA, 2008). Elas podem ser fabricadas utilizando-se diversos tipos de materiais semicondutores. As mais utilizadas são as células compostas de silício.

Uma usina de energia solar é composta por vários painéis solares e componentes auxiliares, tais como inversores e cabeamento.

Figura 4.3: Componentes de uma usina solar (versão simplificada)



Fonte: Albioma (2023?)

Os inversores, são utilizados para alimentar uma carga isolada, e ainda interligam os painéis solares à rede. Sua função primordial é converter corrente contínua em corrente alternada, devido à corrente gerada pelos painéis serem corrente contínua (BRAGA, 2008).

“O dimensionamento de projetos fotovoltaicos é o estudo para viabilizar o local em que ele será implementado. Com ele, é possível identificar quais e quantos equipamentos são necessários para a produção de energia solar.” (SOLARFY, 2021)

Assim, para se efetivar os cálculos da quantidade de energia solar que poderá ser transformada em energia elétrica, necessária para suprir a necessidade da cidade, inicialmente o projetista deverá atentar-se para a localização e área disponível para instalação dos painéis fotovoltaicos, sem em solo ou telhado; necessário, portanto, considerar o local de instalação da usina no projeto, ocorre que neste caso, não foi o foco do presente estudo. Assim, poderá ser feito um estudo sobre as condições de incidência solar, sombreamento local e espaço físico disponível para incorporação da estrutura e cabeamento. Além disso, durante esse processo, é necessário realizar a seleção do tipo de placa a ser utilizada, o levantamento dos materiais e a cotação com diversos fornecedores, conciliando o melhor produto e baixo custo. Por fim, será preciso calcular a quantidade de placas solares fundamental para o fornecimento de energia necessária para manter operante o sistema de iluminação pública da cidade de Contagem.

Então para concluir o dimensionamento da quantidade de painéis solares, é necessário estimar as perdas sofridas pelo sistema durante a sua vida útil. Assim, a perda aplicada ao projeto será de 20%, portanto o fator de rendimento será de 80%, conforme Equação (4-2):

$$N \text{ sistema} = 100 - 20\% = 80\% \quad (4-2)$$

* Considerando uma perda de 20% para fatores como: perdas por temperatura, incompatibilidade elétrica, acúmulo de sujeira, dentre outros (por isso o rendimento = 1 menos 0,20 dos 20% de perda) (PINHO E GALDINO, 2014).

A taxa de desempenho indica o desempenho da geração de energia do sistema, considerando as perdas envolvidas no sistema, tais como: perdas por queda de tensão, sujeira na superfície do módulo, sombreamento, eficiência do inversor. Considera-se 80% o fator de rendimento médio dentro das condições de radiação solar no Brasil (PINHO E GALDINO, 2014).

Para calcular o consumo diário, utilizamos o consumo mensal, equação (4-3), e o divide-se pelo número de dias, em que se adotou 30, conforme equação (4-4):

Consumo para Projeto (CP) = consumo mensal de energia (kWh) (4-3)

Consumo diário (CD) = quantidade do consumo mensal de kWh / 30 dias (4-4)

Calculando a potência de pico, utiliza-se os dados já conhecidos: número de horas diárias de sol, eficiência do sistema e consumo diário, aplicando temos a equação (4-5):

Potência de pico = consumo diário kWh / (nº horas diárias * eficiência do sistema) (4-5)

Para efetivar os cálculos visando dimensionar o sistema, é necessário calcular o número de painéis solares necessários para geração de energia, através da captação da luz solar, conforme equação (4-6):

Número de painéis = potência de pico x 1000 / potência do módulo (4-6)

Conhecendo o número de painéis necessários para atender a demanda da usina projetada pode-se calcular a área necessária para instalação dos mesmos, multiplicando a quantidade de painéis solares pela altura e largura do painel solar.

Após calcular a quantidade de painéis solares, o próximo passo é calcular a quantidade de inversores, conforme equação (4-7):

Quantidade de inversores = quantidade de placas solares / quantidade de painéis por inversor (4-7)

Os demais itens de apoio a instalação, com cabos, disjuntores, fios dentre outros, acompanham os módulos e inversores seguindo as especificações das placas solares e disjuntores.

O valor da mão-de-obra e projeto foi calculado baseado em valor de mercado, estimado em 15% do custo total do orçamento realizado na tabela 5.1. Este valor contempla todas as despesas, incluídos os custos com os colaboradores, para construção da usina(SCHUINA, 2021).

4.4 Análise da viabilidade econômica

Para calcular e analisar a viabilidade econômica do projeto de investimento em energia fotovoltaica, foram utilizados os prazos de retorno do investimento (*Payback*), conforme estão descritos a seguir. Esse indicador é considerado importante no processo de tomada de decisão por apresentar condições para aceitação ou negação do projeto.

4.4.1 Prazo de retorno do investimento – PAYBACK

O *payback* utilizado é o simples, pois através do mesmo, é possível identificar o grau de risco do investimento, considerando o tempo de retorno e comportamento do fluxo de caixa; ou seja, não se considera o valor do dinheiro no tempo, e, portanto, os fluxos de caixa futuros não sofrem influência do custo de oportunidade. Assim, soma-se os valores oriundos da economia até que atinja o valor do investimento. No ato da recuperação do valor investido, tem-se o *payback* simples (SCHUINA,2021)

O cálculo do *payback* será realizado da seguinte forma:

- O custo do investimento será dividido pela economia na implantação do sistema fotovoltaico;

Para tanto, é necessário considerar a economia gerada pelo sistema fotovoltaico em um período específico, neste caso, será considerado o valor mensal, e o valor médio economizado por mês na conta de energia elétrica através do sistema fotovoltaico.

4.5 Análise dos benefícios econômicos e ambientais

A energia solar é uma opção viável e sustentável para a iluminação pública em Contagem, assim como em outras cidades. A implantação de sistemas de energia solar para iluminação pública traz uma série de benefícios, dentre eles:

- Economia de energia;
- Redução de custos operacionais;
- Sustentabilidade ambiental.

Cada um desses aspectos será discutido na próxima seção, utilizando-se de informações obtidas durante a pesquisa e da literatura.

5 RESULTADOS

5.1 Estudo de Caso

O município de Contagem possui a segunda maior população da Região Metropolitana de Belo Horizonte, com 621.863 habitantes, além de densidade demográfica de 3.193,20 e extensão territorial de 194,746 Km², conforme Censo de 2022 (IBGE, 2023).

Localizada na região central do Estado de Minas Gerais, Contagem dista de 21 km da capital de Minas Gerais, a cidade de Belo Horizonte. Seu sistema viário foi projetado visando suportar um intenso fluxo de veículos de carga, realizados através das rodovias BR 381, BR 262 e BR 040, abarcando saídas para os principais estados do país, como: São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília (CONTAGEM, 2023?).

O município possui empresas diversas, tais como: indústrias, comércios, prestação de serviços, supermercados, shopping centers; conta ainda com a Central de Abastecimento (CEASA/MG), o que a transforma em um polo de diversas atividades comerciais, tornando-a uma cidade muito importante para o cenário econômico do Estado de Minas Gerais e também para o país (CONTAGEM, 2023?).

Em 2020 a cidade de Contagem/MG estava classificada como a terceira cidade com a maior arrecadação do Estado de Minas, com PIB estimado em cerca de 29,6 bilhões de reais, atrás apenas de Belo Horizonte e Uberlândia (CONTAGEM, 2023).

A administração da cidade é dividida em 8 regionais, sendo elas: Eldorado, Nacional, Petrolândia, Ressaca, Riacho, Sede, Vargem das Flores e Industrial (CONTAGEM, 2022).

A prefeitura de Contagem está trabalhando no sistema de iluminação pública da cidade, visando à segurança da população e a redução de custos. Logo, melhorias têm sido realizadas na rede, como, a substituição de luminárias de vapor de sódio e de mercúrio por LED. Assim, todas as regionais da cidade têm sido alvo da modernização do sistema de iluminação pública em Contagem. E ainda, a prefeitura assinou um novo contrato de manutenção preventiva e corretiva, para o serviço de iluminação pública, em abril de 2022 (CONTAGEM, 2022).

Desse modo, conforme evidenciado, existe um interesse do poder público em continuar os investimentos em modernização do sistema de iluminação pública e redução de custos, que podem se dar através do uso da energia solar na iluminação pública da cidade de Contagem.

5.2 Consumo energético e radiação solar

Os cálculos foram realizados, considerando as informações fornecidas pela prefeitura de Contagem, sendo o consumo mensal de energia elétrica da iluminação pública, de 4,9 milhões de kWh (CONTAGEM, 2023). Considerando a tarifa de energia cobrada pela CEMIG, que para a iluminação pública, grupo B4a, e bandeira tarifária verde, seria de 0,41198 R\$/kWh (CEMIG, 2023?), o custo estimado seria de 2.018.702 reais mensais.

Conforme dados de CRESESB (2023), foi obtida a Figura 5.1, em que se apresenta a radiação solar para a localidade. O valor do ângulo geralmente utilizado nos projetos é o mesmo da latitude local. Os valores a serem utilizados para o cálculo da energia gerada são os apresentados na coluna onde apresenta a inclinação de 20°, que é a que mais se aproxima da latitude da área. Com isso, para o cálculo da estimativa de geração de energia do sistema fotovoltaico, foi utilizado o valor referente ao ângulo igual ao da latitude, que corresponde ao valor médio de 5,37kWh/(m². dia-1).

Figura 5.1: Irradiação solar diária

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Contagem
Município: Contagem, MG - BRASIL
Latitude: 19,901° S
Longitude: 44,049° O
Distância do ponto de ref. (19,938811° S; 44,052778° O): 4,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Piano Horizontal	0° N	5,79	6,00	5,17	4,82	4,20	4,05	4,30	5,17	5,55	5,65	5,30	5,62	5,13	1,94
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	20° N	5,27	5,72	5,27	5,36	5,03	5,10	5,32	6,00	5,87	5,51	4,90	5,07	5,37	1,10
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,27	5,72	5,27	5,36	5,03	5,10	5,32	6,00	5,87	5,51	4,90	5,07	5,37	1,10
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	18° N	5,34	5,77	5,29	5,32	4,97	5,01	5,24	5,94	5,86	5,55	4,96	5,14	5,37	,98

Fonte: CRESESB (2023).

Portanto, de acordo com os dados solarimétricos apresentados na Figura 5.1 a instalação da usina solar na região de estudo, é totalmente viável, considerando o potencial da irradiação solar, sendo que, conforme o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), a

radiação mínima necessária para atender a demanda dos projetos de sistemas fotovoltaicos é de no mínimo 3 a 4 kWh/ (m². dia-1)

5.3 Dimensionamento do Sistema de Energia Fotovoltaico

Com os dados do sistema de energia já apresentados, temos que o consumo mensal de energia da prefeitura de Contagem para a iluminação pública é de 4,9 milhões de kWh/mês, logo CP = 4,9 milhões kWh. A irradiação solar diária média, considerando a inclinação de 20 ° N é 5,37 kWh/m².dia.

Para o cálculo do consumo diário, consideramos um mês com 30 dias, conforme equações e (4-3) e (4-4), tem-se:

Consumo para Projeto (CP) = 4.900.000,00 de kWh

Consumo diário (CD) = 4.900.000,00 de kWh / 30 = 163.333,3 kWh

Para efetivar os cálculos para dimensionar o sistema, é preciso calcular o número de painéis solares necessários para geração de energia, através da captação da luz solar. Assim é fundamental, calcular a quantidade de horas com irradiação solar acima de 1 kW/m². Logo usaremos a irradiação diária média calculada na Figura 5.1 para calcular o número de horas, conforme equação (4-1):

Nº de horas de sol (Nsol) = (5,37 kWh/m²) / (1 kW/m²) = 5,37 horas

Para cálculo da potência de pico, utiliza-se os dados já conhecidos: número de horas diárias de sol, eficiência do sistema e consumo diário, aplicando a equação (4-5), tem -se:

Potência de pico = 163.333,3 kWh/ (5,37 horas * 0,8) = 38.019,86 kWp

Considerando uma taxa de 80% do fator de rendimento, e uma média de 5,37 horas de sol pleno por dia, a Eq. (4-5) resulta uma potência de pico sistema de 38.019,86 kWp, de forma que o sistema fotovoltaico supra completamente o consumo energético da unidade, considerando o abatimento na conta de energia elétrica através dos créditos gerados pela injeção de energia solar gerada pela usina. Assim, de acordo com o consumo diário e a

irradiação média diária em Contagem, encontra-se a potência diária gerada pelos painéis solares.

5.3.1 Dimensionamento dos Módulos

Assim, conhecendo a potência de pico e demais dados inerentes ao sistema, sabendo que a potência do painel solar estabelecida pelo fabricante é de 550 W, sendo utilizado, o Painel Solar Fotovoltaico JINKO Tiger Pro Mono 550W, logo é possível efetuar o cálculo do número de painéis solares necessários para dimensionar o sistema gerador de energia, conforme equação (4- 6):

$$\text{Número de painéis} = 38.019,86 \times 1000 / 550 = 69.127$$

Logo serão necessários no mínimo de 69.127 painéis solares para atender a demanda da geração de energia do sistema.

O sistema será projetado com uma margem de segurança de 10% para que não falte energia, então o número de painéis a ser considerado para fins de projeto, será de 76.040 painéis.

Após calcular a quantidade de placas solares necessárias para suprir a demanda de energia elétrica da usina é possível definir o tamanho da área necessária para a instalação dos painéis.

Considerando as dimensões do painel solar 2,274 x 1,134 x 35 mm, obtêm-se:

$$76.040 \text{ painéis} \times 2,274 \text{ m} \times 1,134 \text{ m} = 196.085,56$$

Logo, será necessária uma área de 196.086 m² para instalação dos 76.040 painéis solares.

Com os resultados dos cálculos da quantidade dos painéis solares, é possível estabelecer a potência do inversor solar apropriado para atender a demanda de consumo requerida.

$$\text{Quantidade de painéis por inversor} = 15.000 \text{ W} / 550 \text{ W} = 27 \text{ painéis solares}$$

$$\text{Quantidade de inversores} = 76.040 / 27 = 2.816$$

Os inversores utilizados neste projeto, possuem 15 kW de potência, em conformidade com a especificação das placas solares, sendo o escolhido o Inversor Solar Fronius Symo BRASIL 15KW.

Os demais itens de apoio a instalação, com cabos, disjuntores, fios dentre outros, seguiram as especificações das placas solares e disjuntores.

5.4 Materiais e Custo

A Tabela 5.1 abaixo apresenta o dimensionamento dos equipamentos, materiais e mão-de-obra necessários para o cálculo do custo do sistema a ser implementado. O orçamento foi realizado com fornecedores diversos visando alcançar o menor custo com os produtos de melhor qualidade:

Tabela 5.1 – Custo de dimensionamento da usina fotovoltaica*

Quantidade	Material/Equipamento	Marca	Unitário (R\$)	Total (R\$)
76.040	Painéis solares	JINKO 550 W	1.170,00	88.966.800,00
2.816,00	Inversor	Fronius Symo BRASIL 15KW	22.059,00	62.118.144,00
1	Mão de obra e projeto		22.662.742,00	22.662.742,00
			Total	173.747.686,00

Fonte: Autora (2023)

*O cálculo foi realizado considerando apenas o custo das placas, inversor e mão de obra, porém existem outros componentes parte do projeto como os fixadores, que não foram mensurados, devido a não ter a definição do local de implantação da usina, se no telhado ou no solo.

5.5 Análise da viabilidade econômica

O cálculo do *payback* será realizado conforme explicado na Metodologia parte 4.4:

- O custo do investimento será dividido pela economia na implantação do sistema fotovoltaico;

Para tanto, é necessário considerar a economia gerada pelo sistema fotovoltaico em um período específico (por exemplo, um mês) e o valor médio economizado por mês na conta de energia elétrica através do sistema fotovoltaico.

Considerando que há variação da irradiação solar ao longo dos meses, implicando em variação na geração de energia, estima-se que a economia mensal com o sistema fotovoltaico possa alcançar até 95% do valor da fatura (ABSOLAR, 2023), resultando no montante de R\$ 1.917.766,90, porém nesse caso, o valor economizado será considerado constante. Logo, o *payback* estimado é de:

$$\text{Payback} = 173.747.686,00 / 1.917.766,90 = 91 \text{ meses}$$

Isso significa que levaria aproximadamente 91 meses para recuperar o investimento inicial feito na obra com os 76.040 painéis solares, considerando a economia de **R\$ 1.917.766,90** por mês. O *payback* é uma métrica importante a ser considerada ao avaliar o retorno do investimento em energia solar. Quanto menor o *payback*, mais rapidamente o investimento se torna lucrativo.

O valor economizado foi considerado constante. Assim os resultados foram apresentados, visando identificar os custos para a implantação de um sistema de geração.

5.6 Análise da viabilidade econômica

O valor total do investimento para projetar a usina não considerou: os custos com aquisição de terreno para instalação do sistema fotovoltaico, manutenção e nem custos para financiar o projeto, apenas os custos dos principais componentes, projeto e instalação.

Ainda sim, pode-se observar a viabilidade da implantação do sistema, pois no prazo de 91 meses obterá o retorno do valor investido, o qual representa cerca de 25% da vida útil do sistema fotovoltaico, que é de 30 anos ou 360 meses, conforme (IEA-PVPS, c2023). Portanto, pode-se considerar que o tempo restante entre o tempo de *payback* e a vida útil seria o período

de lucratividade ou período de retorno positivo, já que o investimento realizado teria sido recuperado.

Apesar do sistema operacional para implantação da usina de energia solar, ter sido considerado viável economicamente. Para um órgão público como a prefeitura de Contagem este sistema ainda possui um investimento elevado para a sua implantação, pois considerando que o a previsão orçamentária da prefeitura de 2023, de 3 bilhões de reais (CONTAGEM, 2022), isso representa 6% do orçamento, o qual já está comprometido com diversos gastos fixos e variáveis.

5.7 Análise dos benefícios econômicos e ambientais

Considerando a literatura, pode-se apresentar os seguintes benefícios ambientais e econômicos obtidos com o uso da energia solar:

Economia de energia: A energia solar é uma fonte renovável e gratuita. Ao utilizar painéis solares para gerar eletricidade, é possível reduzir significativamente os custos com energia elétrica, acompanhados da dependência de fontes convencionais (COUTINHO, 2023).

Redução de custos operacionais: Com a energia solar, é possível economizar nos custos operacionais de manutenção e substituição de lâmpadas, já que os sistemas de iluminação solar possuem uma vida útil longa e exigem menos manutenção em comparação com sistemas tradicionais (GOMES, 2023).

Tecnologia avançada: Os avanços tecnológicos na área de energia solar completaram os sistemas mais eficientes e acessíveis ao longo dos anos. Hoje em dia, existem soluções sofisticadas, como painéis solares de alta eficiência e baterias de armazenamento, que garantem um fornecimento confiável de energia mesmo durante a noite ou em dias nublados, e ainda os sistemas fotovoltaicos geralmente mantidos com pouca manutenção. (GOMES, 2023).

Sustentabilidade ambiental: A energia solar é uma fonte de energia limpa e renovável, que não emite poluentes ou gases de efeito estufa durante sua operação. Ao adotar a energia solar

na iluminação pública, Contagem contribuiria para a redução das emissões de carbono e para a preservação do meio ambiente (COUTINHO, 2023).

Independência energética: A utilização da energia solar na iluminação pública proporciona uma maior autonomia e independência energética para a cidade. A energia solar está disponível em abundância, especialmente em regiões ensolaradas como o Brasil, e não está sujeita a flutuações de preços no mercado energético (COUTINHO, 2023).

Investimento Inicial: Embora os custos de energia fotovoltaica tenham diminuído ao longo dos anos, o investimento inicial para a instalação de um sistema é elevado para instalação da usina. No entanto, os custos têm se tornado cada vez mais acessíveis (COUTINHO, 2023).

Desse modo, é necessário considerar como impacto econômico o alto custo para instalação da usina, pois o Município de Contagem, não dispõe de tantos recursos de imediato, sendo necessário a contratação de um financiamento bancário, o que acarretaria ainda mais na elevação custos, face os juros incidentes no financiamento.

A tecnologia fotovoltaica acarreta impactos ambientais na vegetação e solo, como perda da cobertura vegetal e/ou alteração morfológica do solo, devido a instalação das placas solares, serem qualificadas como de grande vulto.

O processo de construção de uma usina solar, também passa pelo processo de geração de Gás do Efeito Estufa (GEE). De acordo com a *World Nuclear Association*, a energia solar tem emissão de GEE, ao longo do ciclo de vida, consideradas inferiores à gerada pelos combustíveis fósseis, conforme Figura 5.2, em que o uso da energia solar polui de 10 a quase 6 vezes menos que os combustíveis fósseis (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2021).

Assim a *World Nuclear Association*, entende, que embora o gás natural e o petróleo, apresentaram taxas de emissões mais baixas de GEEs, outras fontes, como a biomassa, a energia nuclear, a hidroelétrica, eólica, e a energia solar fotovoltaica tiveram intensidades de emissão de GEEs ao longo do ciclo de vida, que são consideravelmente menores comparadas aos combustíveis fósseis (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2021).

Já Tahara, Kojima e Inaba (1997), calcularam quanto tempo levaria para fontes de energia renováveis compensar as emissões de gás carbônico (CO₂) comparando-os com fontes de

energia com base em combustíveis fósseis. As emissões CO₂ de cada uma dessas foram quantificadas por meio da Avaliação de Ciclo de Vida, e concluíram que o tempo para compensar as emissões de CO₂ de todas as usinas de energia renováveis são muito mais curtos do que suas vidas operacionais típicas. A tabela 5.2 exemplifica o estudo realizado (TAHARA, KOJIMA E INABA, 1997), em que um sistema fotovoltaico tem um tempo de compensação do CO₂ de 3,9 e 4,9 anos comparado a usinas movida a carvão, muito menor do que a vida útil dos painéis, de cerca de 30 anos. É importante destacar que o tempo de compensação atualmente em dia seria menor, pois o trabalho desses autores é de 1997, e atualmente, as placas solares possuem eficiência maiores.

Tabela 5.2: Tempo de retorno de CO₂ (*payback* de GEEs)

Fonte de Energia	Carvão	Óleo	Gás Liquefeito Natural
Hidrelétrica	0,41	0,50	0,68
Energia Térmica Oceânica (2,5 MW)	2,54	3,12	4,28
Energia Térmica Oceânica (100 MW)	0,26	0,32	0,43
Painel Solar tipo U	4,00	4,90	6,69
Painel Solar tipo I	3,85	4,71	6,43
Painel Solar tipo J	4,91	6,03	8,26

Fonte: Adaptado de Tahara, Kojima e Inaba (1997)

Além da emissão de gases do efeito estufa, a utilização de energia solar gera outros impactos ambientais, associados principalmente ao processo produtivo de fabricação dos painéis solares, devido ao potencial poluidor das matérias-primas empregadas, como o silício (DA ROSA, 2016). Um outro impacto ambiental significativo surge do descarte inadequado dos painéis solares ao atingirem o fim de sua vida útil ou quando danificados, uma vez que podem conter metais pesados, tais como cádmio, cromo e chumbo, dependendo da tecnologia utilizada na fabricação. Estes metais, ao serem submetidos ao processo de lixiviação, podem contaminar o solo e os aquíferos, resultando em impactos ambientais tanto para o ecossistema quanto para a saúde humana (GÓES et al., 2023).

6 CONCLUSÕES

A energia fotovoltaica desempenha um papel cada vez mais importante na matriz energética global, visto que cada vez mais têm ocorridos fenômenos climáticos e meteorológicos cada vez mais intensos, e um dos caminhos para mitigar esses impactos no futuro seria por meio da utilização de uma matriz energética com menores emissões de gases de efeito estufa, ou seja, transição para um sistema energético mais sustentável. A sua adoção tem sido aceita devido à sua viabilidade econômica e benefícios ambientais.

Assim, a energia solar, é uma forma sustentável de geração de energia, uma vez que não polui durante o seu uso, pois se trata de uma energia limpa.

Logo, ocorre que uma desvantagem da instalação do sistema fotovoltaico, é que o custo de implantação da usina é um pouco elevado, mas como mostra o dimensionamento do sistema o valor de R\$ **173.747.686,00** com o retorno do investimento em aproximadamente **91 meses**.

Assim, conclui-se que a implantação de uma usina solar para atender a demanda de energia pública na cidade de Contagem/MG, é uma alternativa viável trazendo benefícios econômicos e ambientais para a cidade, mesmo apresentando um custo elevado para o investimento inicial.

7 RECOMENDAÇÕES

Os sistemas fotovoltaicos são modulares, o que significa que podem ser dimensionados de acordo com as necessidades e o espaço disponível, portanto, pode ocasionar impactos na vegetação e solo. Eles podem ser facilmente expandidos ou modificados no futuro. Assim, a recomendação é que sejam utilizados os telhados dos próprios prédios públicos para construção das usinas, porém em caso de indisponibilidade, pode ser verificado um terreno de propriedade da própria prefeitura do município para que a usina seja implantada em solo.

Recomenda-se também que sejam feitos estudos mais detalhados, considerando outros fatores na composição dos custos de um sistema fotovoltaico, bem como custos com financiamento e possivelmente para aquisição de um terreno para sua instalação.

8 REFERÊNCIAS

- ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim anual de geração eólica** 2019. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/04/PT_Boletim-Anual-de-Geracao-2019-1.pdf Acesso em: 22 out. 2023.
- ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. **Setor elétrico**. 2021. Disponível em: www.abradee.org.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor. Acesso em: 16 set. 2023.
- ABRASI - Associação Brasileira de empresas de serviços de iluminação urbana. **Iluminação urbana**. 2023. Disponível em: <http://www.abrasi.org.br> Acesso em: 16 set. 2023.
- ABSOLAR. **Energia solar fotovoltaica no Brasil – Infográfico de dezembro de 2023**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em 17 dez. 2023.
- ABSOLAR. **Panorama solar fotovoltaico no Brasil e no mundo**. Infográfico. Vol 29. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em 05 abr. de 2023.
- ALBIOMA. **Energia solar, um setor competitivo com grande potencial**. Disponível em: <https://www.albioma.com/pt/magazine/energia-solar-um-setor-competitivo-com-grande-potencial/>. Acesso em: 02 dez. 2023.
- ALVES, M. de O. L. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Bacharel em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, MG, 2019. Disponível em: https://200.239.128.125/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf f. Acesso em: 18 out. 2023.
- ALVIM, Carlos Feu; FERREIRA, Omar Campos; GUIDICINI, Olga Mafra; EIDELMAN, Frida; FERREIRA, Paulo Achtschin; BERNARDES, Marco Aurélio Santos. **Comparação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na geração nuclear de eletricidade no Brasil com as de outras fontes**. Disponível em: https://ecen.com/eee79/eee79p/gases_nuclear.htm. Acesso em: 18 out. 2023.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Programa de Eficiência Energética**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/eficiencia-energetica/peel>. Acesso em: 16 set. 2023.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Regulação - PRODIST - Módulo 8**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao/regulacao> Acesso em: 21 jun. 2023.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL Nº 414 DE 09/09/2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia

Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em:
<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL N° 482 DE 17/04/2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em:
<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

ASSOCIATION, World Nuclear. **Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources**. Disponível em: https://www.world-nuclear.org/uploadedfiles/org/wna/publications/working_group_reports/comparison_of_lifecycle.pdf. Acesso em: 02 dez. 2023.

BIZERRA, Ayla Márcia Cordeiro; QUEIROZ, Jorge Leandro Aquino de; COUTINHO, Demétrios Araújo Magalhães. **O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis: As concepções de estudantes do ensino médio sobre o tema**. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/2502/1562>. Acesso em: 18 out. 2023.

BORTOLOTO, Valter A.; et al. **Geração de energia solar on-grid e off grid**. FATEC - Botucatu-SP.; 2017. Disponível em:
<mhttp://www.fatecbt.edu.br/ocs/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>. Acesso em: 18 out. 2023.

BRAGA, L. A. **Um estudo sobre o mercado de energia elétrica no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

BRASIL. Grupo Banco Mundial. **PPP de Iluminação Pública: Guia Prático de Estruturação de projeto**. Ministério da Economia, [2023?]. Disponível em: Disponível em:
<https://www.globalinfrastructure.org/sites/gif/files/2022-03/Brazil%20Street%20Lighting%20PPP%20Structuring%20Toolkit%20%28Portuguese%29%20%28002%29.pdf> Acesso em: 20 out. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis n.º 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: Acesso em:

CCEE. **Câmara de comercialização de energia elétrica**. Disponível em:
<https://www.ccee.org.br/>. Acesso em: 20 nov. 2023

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Mini e microgeração distribuída**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/mini-e-microgeracao-distribuida/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Usina solar fotovoltaica Mineirão**. 2023?. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/usina/usina-solar-fotovoltaica-mineirao/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Valores de tarifas e serviços**. 2023. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. Acesso em: 28 nov. 2023.

CNPE. **Conselho Nacional de Política Energética**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CONTAGEM – Prefeitura Municipal de Contagem. **Secretaria Municipal de Obras de Iluminação Pública**. 2023. Documentos internos

CONTAGEM. **Aprovação de plano plurianual e orçamento municipal encerra ano legislativo**. 2022. Disponível em: <http://www.cmc.mg.gov.br/?p=22153#:~:text=Or%C3%A7amento%202023,mais%20do%20que%20neste%20ano> Acesso em 02 dez. 2023

COUTINHO, Fernando Jubran. **Uso de energia fotovoltaica em edificação – Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional**. Disponível em: https://ugc.production.linktr.ee/27184ca1-7999-4ff2-bf48-ece5305c28a0_16.-Uso-de-energia-fotovoltaica-em-edifica--o---Vantagens-e-desvantagens-em-rela--o-a-energia-el-trica-convencional-Autor-Fernando-Jubran-Coutinho.pdf. Acesso em: 18 out. 2023.

CRESESB. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Radiação solar**. 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301. Acesso em: 13 out 2023

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Portal Solar - Sundata 3.0** .2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 20 nov. 2023

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014 Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 03 dez 2023

CSME. **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cmse>. Acesso em: 20 out. 2023.

EPE, Governo Federal, Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023**. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em: 18 out. 2023.

EPE, Governo Federal, Ministério de Minas e Energia. Matriz Energética e Elétrica. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 18 out. 2023:

ESTADO DE MINAS. **Estudo revela potencial solar em seis microrregiões de Minas Gerais**. 2018. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2018/03/04/internas_economia,941654/abencoadas-pelo-astro-rei.shtml. Acesso em: 17 dez. 2023.

FARIA, Ana Carolina de. **Iluminação sustentável: Os benefícios do uso da tecnologia led nos projetos de iluminação**. Disponível em: <https://tede2.pucgoias.edu.br/bitstream/tede/2548/1/ANA%20CAROLINA%20DE%20FARIA.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2023.

GATTI, André. **Energias renováveis na matriz energética: Comparação Brasil e Estados Unidos**. 2018. 72 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

Góes, P. F., de Sousa Filho, C. L., Souza, D. de A., Ferreira, E., Lopes, V. A. J., Silva, M. S., de Albuquerque, Édler L., & Tanimoto, A. H. (2023). Resíduos de painéis solares fotovoltaicos: uma revisão dos impactos ambientais e toxicológicos. **Revista De Gestão E Secretariado**, 14(8), 12528–12553. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i8.2553>

GOMES, Luiz Felipe. **Vantagens e desvantagens de instalar energia solar em sua residência**. Disponível em: <https://www.tuacasa.com.br/energia-solar/>. Acesso em: 18 out. 2023.

HECK, Isadora Tomaz; LIMA, Manoel Carlos Oliveira. **O atual mercado de energia elétrica no Brasil**. 2022. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1411/1/tcc_Isadora%20Tomaz%20Heck%20C%20Manoel%20Carlos%20Oliveira%20Lima.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do município de Contagem-MG**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/contagem/panorama>. Acesso em: 20 nov. 2023.

IEA-PVPS. International Energy Agency - PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM PROGRAMME. **Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling**. C2023. Disponível em: <https://iea-pvps.org/key-topics/life-cycle-assesment-of-current-photovoltaic-module-recycling-by-task-12-2/>. Acesso em: 03 dez. 2023.

LORENZO, Helena Carvalho de. **O setor elétrico brasileiro: Passado e futuro**. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/7d18af4f-403f-4d17-a615-bf9487e41004/content>. Acesso em: 18 out. 2023.

MATOS, D.M.B.; CATALÃO, J.P.S. **Geração distribuída e os seus impactes no funcionamento da rede elétrica: Parte 1**. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Diogo-Matos/publication/268811175_Geracao_Distribuida_e_os_seus_Impactes_no_Funcionamento_da_Rede_Eletrica_Parte_1/links/54777f180cf205d1687b242f/Geracao-Distribuida-e-os-seus-Impactes-no-Funcionamento-da-Rede-Eletrica-Parte-1.pdf. Acesso em: 18 out. 2023.

MME. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br>. Acesso em: 20 out. 2023.

MORAIS, Luciano Cardoso de. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. 2015. 127 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2015.

MORTATI, Débora Marques de Almeida Nogueira. **A implantação da hidreletricidade e o processo de ocupação do território no interior paulista (1890-1930)**. 2013. 341 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, 2013.

NEOSOLAR. **O que é energia solar: Tudo sobre**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar>. Acesso em: 18 out. 2023.

OLIVEIRA, Wesley Pereira de. **Estudo sobre a viabilidade econômica da microgeração fotovoltaica residencial**. 2020. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Unifacvest, Lages, 2020.

ONS. **Operador Nacional do Sistema Elétrico**. 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>. Acesso 02 de setembro de 2023.

ONS. **Resolução Normativa ANEEL N° 957, de 7 de dezembro de 2021**. Institui a Convenção de Comercialização de Energia Elétrica, revoga as Resoluções Normativas n° 249, de 11 de agosto de 1998; n° 271, de 19 de agosto de 1998; n° 18, de 28 de janeiro de 1999 e dá outras providências. 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021957.pdf>. Acesso em 02 de setembro de 2023.

PEREIRA, José Flávio Mayrink. **Considerações a respeito da matriz energética de minas gerais**. 2013. 135 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2013.

PEREIRA, N. X. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181288/pereira_nx_me_soro.pdf?sequenc e=3&isAllowed=y. Acesso em: 18 out. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. CRESESB. 2014.

PIRES, José Claudio Linhares. **Desafios da reestruturação do setor elétrico brasileiro**. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14249/3/TD%20-%2076%20Desafios%20da%20reestrutura%20c3%a7%20c3%a3o%20do%20setor%20el%20c3%a9t rico%20brasileiro_P_BD.pdf. Acesso em: 18 out. 2023.

ROSITO, Luciano Hass. **As origens da iluminação pública no Brasil**. In: Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil. 2009. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/11/Ed36_fasc_IP_cap1.pdf Acesso em: 22 out. 2023

SAMPAIO, K. R. A.; BATISTA, V. The current scenario of wind energy production in Brazil: A literature review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. e57710112107, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i1.12107. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12107>. Acesso em: 22 out. 2023.

SANTANA, Rosa Maria Bomfim. **PUBLIC LIGHTING: MANAGERIAL APPROACH**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Salvador, Salvador, 2010.

SCHERER, Lara Almeida; SESSEGOLO, Maria Eduarda Donatto; BARCAROLO, Taylana Borba; EDLER, Marco Antônio Ribeiro. **Fonte alternativa de energia: Energia solar**. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2015/XX%20SEMIN%20C3%81RIO%20INTERINSTITUCIONAL%202015%20-%20ANAI/Graduacao/Graduacao%20-%20Resumo%20Expandido%20-%20Exatas,%20Agrarias%20e%20Ambientais/FONTE%20ALTERNATIVA%20DE%20ENERGIA%20ENERGIA%20SOLAR.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

SCHUINA, Lucas Lustosa. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de implementação de uma usina solar voltada para a locação de equipamentos como modelo de negócio de uma fazenda solar**. 2021. 91 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1275/TCC_Viabilidade_T%c3%a9cnica_Econ%c3%b4mica_Usina_Solar.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 03 dez. 2023.

SILVA, R. G.; DO CARMO, M. J. **Energia solar fotovoltaica: Uma proposta para melhoria da gestão energética**. InterSciencePlace – International Scientific Journal, vol. 12, no. 2. 2017, pag. 129-173.

SOLAR, Portal. **Efeito fotoelétrico x efeito fotovoltaico: quais as diferenças?** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/efeito-fotoeletrico-efeito-fotovoltaico>. Acesso em: 28 nov. 2023.

SOLAR, Portal. **Painel solar: o que é, como funciona e tipos**. 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar>. Acesso em: 03 dez. 2023.

SOLARFY. **Dimensionamento de projetos fotovoltaicos: o que é e como fazer**. 2021. Disponível em: <https://solarfy.com.br/blog/dimensionamento-de-projetos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 18 out. 2023.

TAHARA, K.; KOJIMA, T.; INABA, A. Evaluation of CO2 payback time of power plants by LCA. **Energy Convers. Manag.**, 38 (SUPPL. 1) .1997. pp. 615-620. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(97\)00005-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(97)00005-8). Acesso em 02 dez. 2023