



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
Curso de Graduação em Engenharia de Produção

---

**O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
OURO PRETO, CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO, E O IMPACTO DA GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA**

**Ouro Preto**

**2023**

**O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
OURO PRETO, CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO, E O IMPACTO DA GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA**

**João Victor Gonçalves de Oliveira**

Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheiro de Produção na Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Produção.

**Área de concentração:** Engenharia

**Orientadora:** Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino

**Ouro Preto**

**2023**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O48o Oliveira, Joao Victor Goncalves De.  
O consumo de energia elétrica na Universidade Federal de Ouro Preto, campus Morro do Cruzeiro, e o impacto da geração fotovoltaica. [manuscrito] / Joao Victor Goncalves De Oliveira. - 2023. 49 f.

Orientadora: Profa. Dra. Bruna Flausino.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Energia - Fontes alternativas. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Investimento em energia limpa. I. Flausino, Bruna. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**João Victor Gonçalves de Oliveira**

### **O consumo de energia elétrica na Universidade Federal de Ouro Preto, campus Morro do Cruzeiro, e o impacto da geração fotovoltaica**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 28 de julho de 2023.

#### Membros da banca

DSc Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto  
DSc Gustavo Nikolaus Pinto de Moura - Universidade Federal de Ouro Preto  
DSc Yã Grossi Andrade - Universidade Federal de Ouro Preto

Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 28/07/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Bruna de Fatima Pedrosa Guedes Flausino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2023, às 14:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Nikolaus Pinto de Moura, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/08/2023, às 12:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Yã Grossi Andrade, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/08/2023, às 17:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0567211** e o código CRC **8018A7B2**.

## RESUMO

Este estudo explora o potencial da energia solar fotovoltaica como alternativa viável e sustentável para a eficiência energética no contexto da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), especificamente no campus Morro do Cruzeiro. Considerando a abundante incidência solar no Brasil e a necessidade de diversificação da matriz energética, a pesquisa evidencia a energia solar como uma opção promissora para complementar a geração hidrelétrica, principalmente frente aos desafios das mudanças climáticas. A análise do caso prático da mini usina de geração localizada no Campus Morro do Cruzeiro demonstra um retorno econômico significativo, contribuindo para a economia de recursos da instituição. Entretanto, é destacada a importância do planejamento cuidadoso e da consideração dos custos de instalação, manutenção e descarte de equipamentos. Por fim, o estudo sugere que a implementação de energia solar na UFOP pode servir como um exemplo para outras instituições, promover a formação de profissionais em tecnologias renováveis e fomentar a pesquisa e inovação na área.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica. Eficiência Energética. Universidade Federal de Ouro Preto.

## ABSTRACT

This study explores the potential of photovoltaic solar energy as a viable and sustainable alternative for energy efficiency within the context of the Federal University of Ouro Preto (UFOP), specifically at the Morro do Cruzeiro campus. Considering the abundant solar incidence in Brazil and the need for diversification of the energy matrix, the research highlights solar energy as a promising option to complement hydroelectric generation, particularly in the face of climate change challenges. The analysis of the practical case of the mini power generation plant located on the Morro do Cruzeiro Campus demonstrates significant economic returns, contributing to the institution's resource economy. However, the importance of careful planning and consideration of installation, maintenance, and equipment disposal costs is emphasized. Finally, the study suggests that the implementation of solar energy at UFOP can serve as an example for other institutions, promote the training of professionals in renewable technologies, and stimulate research and innovation in the field.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy. Energy Efficiency. Federal University of Ouro Preto.

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Energia gerada pelas usinas fotovoltaicas em 2023 (projeção).....	39
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo mundial de energia elétrica (em Terawatt-hora) entre 1990 e 2019 .....	13
Tabela 2 – Relatório Anual de 2022 de geração de energia na Universidade Federal de Ouro Preto.....	36
Tabela 3 - Relatório Parcial de 2023 de geração de energia na Universidade Federal de Ouro Preto.....	37

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento da célula fotovoltaica .....	20
Figura 2 - Histórico de consumo de energia elétrica da UFOP em 2022 .....	32
Figura 3 - Placas fotovoltaicas no campus morro do cruzeiro .....	32
Figura 4 – Inversor GOODWE GW60KN-MT .....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>11</b>
<b>3 CONTEXTUALIZAÇÃO E TEORIA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA .</b>	<b>13</b>
<b>3.1 A demanda por energia elétrica: breve panorama mundial e nacional .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Políticas e estratégias de eficiência energética .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Tecnologia fotovoltaica: princípios e aplicações.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 Componentes do sistema fotovoltaico .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Vantagens e desafios da energia solar fotovoltaica .....</b>	<b>24</b>
<b>3.6 O consumo de energia elétrica nas universidades federais brasileiras.....</b>	<b>27</b>
<b>4 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E IMPACTO DA GERAÇÃO FOTVOLTAICA NO CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Breve análise do perfil energético da Universidade Federal de Ouro Preto – campus Morro do Cruzeiro .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 Impacto da geração de energia fotovoltaica e geração de renda para a UFOP.....</b>	<b>32</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia solar, nos últimos tempos, vem sendo a maior fonte de incremento quando se trata de capacidade instalada pelo mundo, havendo uma capacidade de produção no mundo estabelecida em 512,3 GW (IRENA, 2020). Isso se explica pelos preços de implantação e manutenção que vem caindo nos últimos anos, a tecnologia que é robusta e já tem projetos com duração de mais de 30 anos, além de ser uma energia limpa de grande potencial.

No Brasil não é diferente, graças à localização geográfica, o país recebe uma ótima incidência de radiação solar, permitindo a execução de projetos fotovoltaicos em diversas regiões (SANTOS, 2022). Logo, esse tipo de energia enche os olhos pois tem potencial competitivo no fornecimento de energia elétrica, além de poder contribuir de forma efetiva no compromisso nacional com a emissão de gases de efeito estufa.

Quando se trata de estimativas de recursos, diferentemente das outras fontes energéticas, a energia solar possui recursos dispersos homogeneamente pelo nosso território, que pela localização, permite que projetos sejam implantados em todo território. Analisando áreas com pouca vegetação nativa presente e com radiação global média diária de 6kWh/m<sup>2</sup>, seria possível a instalação de 307 GWp (EPE, 2016), o que equivale a quase o dobro da capacidade instalada atualmente no Brasil, que é de 167 GWp.

O futuro da energia do mundo precisa atravessar alguns desafios, com as constantes mudanças climáticas, as energias solar e eólica entram com grande força, somando maior variabilidade e menor previsibilidade de produção a curto prazo. No Brasil não é diferente, vai ser necessária a otimização da principal fonte de energia (hidroelétricas), investindo cada vez mais na adequabilidade de suprimento. Adicionalmente, o aumento da participação da geração não-controlável na matriz elétrica brasileira, traz cada vez mais a necessidade da adequação dos modelos de simulação setoriais, concebidos inicialmente para um sistema puramente hidrotérmico e que hoje não representam adequadamente as incertezas relativas às outras fontes.

Um outro desafio é a reciclagem dos materiais. Geralmente, a vida útil de um projeto fotovoltaico em operação é de 25 anos, logo, o grande volume de equipamentos que vão ser descartados é uma premissa de preocupação, atingindo a ordem de dezenas de bilhões de módulos.

Fundada em 1969, a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), após a junção ocorrida entre a Escola de Minas e a Escola de Farmácia, obteve excelência e um grande desenvolvimento educacional, se tornando cada vez mais relevante no cenário nacional e mundial. A partir do ano de 2007, o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni) do Governo Federal Brasileiro (UFOP, 2019), possibilitou que a instituição se desenvolvesse ainda mais, aumentando o número de cursos e vagas ofertadas.

No ano de 2016, a Emenda à Constituição 95 (EC 95/2016) foi aprovada, a mesma, pontuou necessário o congelamento de gastos em educação por 20 anos. Após essa sanção, é fato que as universidades se desdobram cada vez mais para garantir uma eficiência energética gastando menos. Já no ano de 2019, a Pró-reitoria de Planejamento e Desenvolvimento (PROPLAD) da UFOP iniciou a montagem de sua equipe e projetos de eficiência e conservação da energia em busca de soluções para os problemas e oportunidades presentes na instituição.

Partindo desses pressupostos, o objetivo geral deste estudo é compreender como a geração fotovoltaica pode impactar e contribuir para a economia de recursos econômicos no contexto da Universidade Federal de Ouro Preto, especificamente no campus Morro do Cruzeiro. Para tanto, tem-se como objetivos específicos: a) realizar uma contextualização geral e teórica do consumo de energia elétrica; b) apontar as vantagens e os desafios relacionados à energia fotovoltaica; e c) analisar este aspecto no cenário da universidade em questão.

## 2 METODOLOGIA

Esta pesquisa adota um estudo de caso como estratégia metodológica, sendo o Campus Morro do Cruzeiro da Universidade de Ouro Preto o caso analisado. O estudo de caso foi escolhido por permitir um exame aprofundado das particularidades de um fenômeno, no caso, o consumo de energia elétrica no campus e o impacto potencial da geração fotovoltaica. Este tipo de estudo possui uma natureza exploratória e descritiva, o que é adequado para o objetivo desta pesquisa. A pergunta problema central que norteia o estudo é: "Como a geração de energia solar fotovoltaica poderia influenciar o consumo de energia elétrica no Campus Morro do Cruzeiro, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais?".

Para responder a esta questão, foram utilizadas palavras-chave para o levantamento bibliográfico, tais como: "Energia solar fotovoltaica", "Eficiência energética", "Gestão de energia em universidades", "Consumo de energia elétrica", e "Impacto ambiental da geração fotovoltaica". Neste sentido, a coleta de dados foi baseada em bases científicas confiáveis, como Scopus, Web of Science, Science Direct, e a base de dados da CAPES. Para a busca nas bases de dados, foram utilizados operadores booleanos, como "AND" e "OR", de maneira a tornar a pesquisa mais precisa e abrangente.

Os critérios de inclusão foram: estudos publicados em português, inglês ou espanhol, nos últimos 10 anos, que se relacionassem diretamente com os temas de interesse da pesquisa. Foram excluídos estudos sem resumo disponível, que não estivessem diretamente relacionados com os temas de interesse ou que não possuíssem um método de pesquisa claro.

Além disso, para complementar a análise, a pesquisa foi realizada com dados do próprio campus, os quais foram cedidos pela universidade, mediante autorização escrita, que está anexada a esta monografia.

Os segmentos analisados são:

- Perfil energético do Campus Morro do Cruzeiro;
- Avaliação do consumo de energia elétrica no campus;
- Impacto da geração da energia fotovoltaica e renda para a UFOP;

O perfil energético do campus foi construído a partir dos dados de consumo elétrico dos anos de 2022 e 2023 (parcialmente) fornecidos pela universidade, permitindo uma compreensão aprofundada do uso de energia na instituição.

Em seguida, a avaliação do consumo de energia elétrica buscou identificar os principais serviços energéticos demandados, as suas variações ao longo do tempo, além dos fatores que influenciam essas variações.

No estudo de viabilidade técnica e econômica da geração fotovoltaica, foram considerados aspectos como a disponibilidade solar na região, índice de irradiação solar, o custo de instalação, operação e manutenção dos painéis fotovoltaicos, e a economia potencial na conta de luz.

Na estimativa de redução no consumo de energia elétrica e impacto ambiental, foram utilizados dados de estudos similares para criar cenários possíveis de redução no consumo de energia e de diminuição da emissão de gases de efeito estufa.

Por fim, a partir dos resultados obtidos, foram propostas ações de otimização e melhorias, a fim de contribuir para a gestão energética eficiente e sustentável do campus.

### 3 CONTEXTUALIZAÇÃO E TEORIA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

#### 3.1 A demanda por energia elétrica: breve panorama mundial e nacional

O consumo de energia elétrica tem se elevado significativamente nas últimas décadas, impulsionado pelo rápido crescimento populacional, desenvolvimento econômico e urbanização mundial (BHATTACHARYYA, 2011). Para fins ilustrativos, a Tabela 1 demonstra o salto do consumo ao redor do mundo ao se comparar o ano de 1990 com 2019. De qualquer forma, esta tendência é projetada para persistir nas próximas décadas, com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2020) prevendo um aumento de 50% na demanda global até 2040.

Tabela 1 - Consumo mundial de energia elétrica (em Terawatt-hora) entre 1990 e 2019

Ano	Consumo de energia elétrica (TWh)
1990	10.534
1995	12.317
2000	14.322
2005	16.636
2010	19.370
2015	22.344
2019	23.984

Fonte: (Agência Internacional de Energia, 2020).

A crescente demanda por energia elétrica não se distribui de forma homogênea pelo mundo, sendo mais acentuada em países emergentes e em desenvolvimento (YADOO; CRUICKSHANK, 2012), o que pode ser atribuída a diversos fatores, entre os quais se destacam as diferenças econômicas, sociais e demográficas entre os países, bem como as disparidades no acesso a recursos energéticos e nas políticas de energia. Desta forma, a demanda é mais acentuada em nações emergentes e em desenvolvimento devido a alguns aspectos específicos de cada uma (YADOO; CRUICKSHANK, 2012).

Em primeiro lugar, o rápido crescimento econômico experimentado por muitos países emergentes e em desenvolvimento, como Brasil, China e Índia, tem levado a uma expansão da industrialização e a um aumento na demanda por energia elétrica (JARAMILLO *et al.*, 2014). Essa expansão industrial é acompanhada por um aumento na demanda por energia em setores

como manufatura, transporte e construção, assim como no consumo doméstico (BHATTACHARYYA, 2011).

Paralelamente, tem-se a rápida urbanização. O processo de urbanização, caracterizado pela migração da população rural para áreas urbanas, implica em maior necessidade de energia para abastecer a infraestrutura e os serviços urbanos, como iluminação pública, transporte público e sistemas de distribuição de água e saneamento (Grimm *et al.*, 2008). Além disso, a crescente urbanização também resulta em mudanças nos padrões de consumo, com o aumento na demanda por bens e serviços que requerem energia elétrica, como eletrodomésticos, sistemas de climatização e telecomunicações (PACHAURI E SPRENG, 2011).

Além dos fatores mencionados, é importante ressaltar as diferenças nas políticas energéticas e na capacidade institucional entre os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, há geralmente um maior investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) de tecnologias energéticas avançadas, bem como na eficiência energética e no uso de fontes renováveis de energia (SOVACOOOL, 2011). Tais políticas e investimentos têm contribuído para a contenção do crescimento da demanda por energia elétrica nesses países.

Em contraste, nos países emergentes e em desenvolvimento, a capacidade institucional e os recursos financeiros para investir em P&D e implementar políticas eficazes de eficiência energética e promoção de energias renováveis são mais limitados. Isso, combinado com as crescentes necessidades energéticas de suas populações em rápido crescimento, resulta em uma maior demanda por energia elétrica nesses países (CHERP; JEWELL, 2011).

Nesta altura, é importante destacar que o acesso à energia elétrica ainda é um desafio em muitos países em desenvolvimento. Segundo estimativas da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021), cerca de 789 milhões de pessoas no mundo ainda não têm acesso à eletricidade, sendo a maioria dessas pessoas residentes em áreas rurais de países em desenvolvimento. Portanto, à medida que o acesso à energia elétrica é expandido para essas populações, a demanda por energia elétrica também cresce nessas regiões (BAZILIAN *et al.*, 2012).

De qualquer modo, o setor de geração de energia tem enfrentado desafios para acompanhar a crescente necessidade, especialmente em relação à sustentabilidade e aos impactos ambientais. A matriz energética mundial ainda é predominantemente baseada em combustíveis fósseis, que contribuem para a emissão de gases de efeito estufa e agravam o

problema das mudanças climáticas (JACOBSON, 2009). Dessa forma, torna-se fundamental promover uma transição para fontes de energia renováveis e sustentáveis, que reduzam o impacto ambiental e garantam a segurança energética (GHOSH *et al.*, 2017).

No contexto brasileiro, a matriz energética é diversificada e conta com uma parcela significativa de fontes renováveis, especialmente a hidroeletricidade. Essa característica é um dos principais diferenciais do Brasil em relação a outros países, proporcionando maior sustentabilidade e menor dependência de combustíveis fósseis (EPE, 2020).

Como mencionado, a matriz energética brasileira é composta principalmente pela geração hidroelétrica, que representa aproximadamente 60% da capacidade instalada de geração de energia elétrica no país (ANEEL, 2021). Essa abundância de recursos hídricos permite que o Brasil aproveite seu potencial hidrelétrico e reduza sua dependência de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo (GOLDEMBERG, 2019).

No entanto, a dependência da geração hidroelétrica também apresenta desafios, como a vulnerabilidade às variações climáticas e às mudanças nos padrões de precipitação (MARENGO *et al.*, 2016). Essa vulnerabilidade foi evidenciada nos últimos anos com a ocorrência de períodos de seca prolongados, que impactaram negativamente a capacidade de geração de energia e causaram aumentos nos preços da energia elétrica (TOLMASQUIM, 2015).

Diante desse cenário, observa-se que é crucial diversificar ainda mais a matriz energética brasileira e investir em outras fontes de energia renovável, como energia eólica, solar e biomassa. Essas fontes têm experimentado um crescimento expressivo no Brasil nos últimos anos, impulsionadas por políticas públicas, incentivos e avanços tecnológicos (EPE, 2020; LEAL *et al.*, 2019). Em outras palavras, a diversificação da matriz energética pode contribuir para a resiliência do sistema elétrico nacional e ajudar a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (LUCENA *et al.*, 2015).

Nesse sentido, percebe-se que é importante ampliar a discussão sobre a gestão do consumo de energia elétrica e buscar soluções que permitam atender às necessidades energéticas de maneira sustentável e eficiente. A eficiência energética pode ser uma estratégia essencial nesse contexto, pois possibilita a redução do consumo de energia sem comprometer o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida (SORRELL *et al.*, 2004).

### 3.2 Políticas e estratégias de eficiência energética

O interesse pela eficiência energética teve início durante a crise do petróleo na década de 1970, quando os países industrializados enfrentaram restrições no fornecimento de energia e elevação nos preços dos combustíveis fósseis (IEA, 2014). A partir desse momento, a busca por soluções que permitissem reduzir a dependência energética e otimizar o uso dos recursos energéticos tornou-se uma preocupação mundial.

Um dos primeiros conceitos relacionados à eficiência energética é a "conservação de energia", que se refere à redução no consumo de energia através da adoção de medidas que promovam o uso racional e consciente dos recursos (LOVELINS, 1977). Esse conceito enfatiza a importância de se evitar o desperdício e de se utilizar a energia de forma responsável, tendo como principal objetivo a preservação dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais associados à produção e ao consumo de energia.

Em contraposição ao conceito de conservação de energia, a "eficiência energética" é um termo mais abrangente, que engloba não apenas a redução do consumo, mas também a utilização de tecnologias e processos que permitam obter o máximo de benefícios com o mínimo de energia consumida (WAIDE, 1998). Nesse sentido, a eficiência energética está relacionada à capacidade de se extrair mais serviços ou produtos com a mesma quantidade de energia, ou seja, de se fazer mais com menos.

Outro conceito importante é a "gestão de energia", que aborda o planejamento e a implementação de políticas e estratégias que visam otimizar o uso de recursos energéticos, incluindo a promoção da eficiência energética, a diversificação das fontes de energia e a redução das emissões de gases de efeito estufa (CAPELO, 2004). A gestão de energia envolve a identificação de oportunidades de melhoria, a adoção de medidas corretivas e a avaliação dos resultados obtidos, com o objetivo de garantir a sustentabilidade energética e ambiental.

Ao comparar os conceitos de conservação de energia, eficiência energética e gestão de energia, é possível perceber que, apesar de estarem interrelacionados, eles apresentam diferenças importantes. A conservação de energia, conforme Capelo (2004), está focada na redução do consumo, enquanto a eficiência energética busca otimizar a relação entre a quantidade de energia utilizada e os benefícios obtidos. Já a gestão de energia engloba um conjunto mais amplo de ações e estratégias que visam garantir a sustentabilidade energética e ambiental.

Com o passar do tempo, o conceito de eficiência energética evoluiu e passou a abranger novas dimensões, tais como a integração das fontes de energias renováveis, a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para melhorar o gerenciamento e controle de sistemas energéticos e a consideração de aspectos sociais e comportamentais na promoção do uso racional de energia (STOJILJKOVIĆ *et al.*, 2016).

Importa destacar, ainda, que "inteligência energética" é outro conceito emergente que se refere à aplicação de tecnologias e sistemas inteligentes para otimizar a produção, distribuição e consumo de energia, com o objetivo de melhorar a eficiência energética e reduzir os impactos ambientais (GIRI *et al.*, 2020). Esse conceito incorpora elementos de automação, monitoramento e análise de dados, permitindo uma maior flexibilidade e adaptabilidade dos sistemas energéticos às necessidades e condições específicas de cada situação.

Outra definição relevante é a "sustentabilidade energética", que aborda a necessidade de se garantir o acesso à energia de forma equitativa, segura e ambientalmente responsável, considerando aspectos econômicos, sociais e ecológicos (WORLD ENERGY COUNCIL, 2013). A eficiência energética é um dos pilares da sustentabilidade energética, uma vez que contribui para a redução do consumo de recursos naturais, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e a mitigação dos impactos ambientais.

Ao analisar e comparar os diversos conceitos relacionados à eficiência energética, é possível perceber que a evolução histórica desse tema tem sido marcada pela incorporação de novos elementos e abordagens, refletindo a complexidade e a multidimensionalidade dos desafios energéticos e ambientais enfrentados pela sociedade contemporânea.

A compreensão desses conceitos é fundamental para orientar a formulação e implementação de políticas e estratégias de eficiência energética, tanto em nível local quanto global. Conforme Giri *et al.* (2020), a busca pela eficiência energética não deve ser encarada apenas como uma questão técnica ou econômica, mas também como uma oportunidade para promover a inovação, a cooperação internacional e a transformação social em direção a um futuro mais sustentável e equitativo.

Nesta direção, no cenário global, a Agência Internacional de Energia (IEA, 2020) tem destacado a importância de políticas e estratégias de eficiência energética para reduzir o consumo de energia, diminuir as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade ambiental. Diversos países têm adotado medidas como a implementação de

padrões mínimos de eficiência energética para equipamentos e edificações, a criação de programas de incentivo financeiro para a adoção de tecnologias eficientes e a realização de campanhas de conscientização (BERTOLDI *et al.*, 2012).

Já Brasil, a eficiência energética tem ganhado destaque nas políticas públicas, especialmente após a crise energética ocorrida no início dos anos 2000. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), criado em 1985, e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), estabelecido em 1993, são exemplos de iniciativas governamentais que visam promover a eficiência energética no país (EPE, 2016). Além disso, a Política Nacional de Eficiência Energética (PNEf), instituída em 2011, estabelece diretrizes e metas para a promoção de práticas sustentáveis e eficientes no consumo de energia (BRASIL, 2011).

Neste sentido, também é importante resgatar a lei da eficiência energética no Brasil, a Lei nº 10.295 de 2001, que institui a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Essa lei estabelece as normas para a fabricação, comercialização e uso de produtos que consumam energia, estabelecendo limites de consumo e eficiência para cada produto. Sua principal diretriz é incentivar a redução do consumo de energia através da eficiência energética, o que implica uma gestão consciente e responsável dos recursos energéticos (BRASIL, 2001).

Finalmente, vale refletir que em comparação à energia hidrelétrica, a energia fotovoltaica apresenta uma série de vantagens e desvantagens em termos de eficiência e impacto ambiental. Silva e Moraes (2018) apontam que a energia fotovoltaica tem uma eficiência de conversão de energia solar em elétrica que varia de 15% a 20%, enquanto a eficiência das hidrelétricas é em média de 90%.

No entanto, a avaliação da eficiência energética não deve considerar apenas a taxa de conversão. É importante considerar também o ciclo de vida dos equipamentos e as externalidades associadas a cada forma de produção de energia. Por exemplo, a construção de uma hidrelétrica causa impactos ambientais significativos, incluindo a inundação de grandes áreas e o deslocamento de comunidades, além de emissões de gases de efeito estufa pela decomposição da biomassa submersa (SILVA, SANTOS, 2020). Em contrapartida, a geração de energia fotovoltaica é limpa, renovável e praticamente inesgotável.

Em relação à manutenção, a energia fotovoltaica tem vantagem, pois os painéis solares necessitam de pouca manutenção, enquanto as hidrelétricas necessitam de um cuidado mais

intenso, e frequentemente enfrentam problemas como a siltação dos reservatórios (LOPES, ANDRADE, 2019).

### **3.3 Tecnologia fotovoltaica: princípios e aplicações**

Diversos autores discutem os conceitos e definições de energia solar fotovoltaica, tendo cada um a sua interpretação particular. Em essência, a energia solar fotovoltaica é definida como a energia elétrica produzida a partir da radiação solar direta, utilizando células fotovoltaicas para converter a luz em eletricidade.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2023), a energia solar fotovoltaica é uma forma de energia renovável que utiliza a radiação solar para gerar eletricidade. Ela se destaca pela sua capacidade de produção de energia limpa e sem emissões de gases de efeito estufa.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023), a energia solar fotovoltaica é definida como a energia elétrica gerada a partir da conversão direta da energia solar, através do uso de células solares. A ANEEL ressalta a importância da geração distribuída e dos micros e mini sistemas fotovoltaicos para a descentralização da produção de energia e para a democratização do acesso à energia elétrica.

Já no livro "O sol vai voltar amanhã: um espectro de análise sobre a energia" (PUC-RIO; PETROGAL BRASI, 2020) traz uma definição mais técnica, explicando o processo de conversão da luz solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico. Ele enfatiza que o processo é puramente físico e não envolve nenhuma reação química ou mecânica.

Ferreira *et al.* (2021) também apresentam um ponto de vista semelhante ao da ANEEL, mas destacam a importância da energia solar fotovoltaica para a redução da dependência dos combustíveis fósseis e para a mitigação das mudanças climáticas.

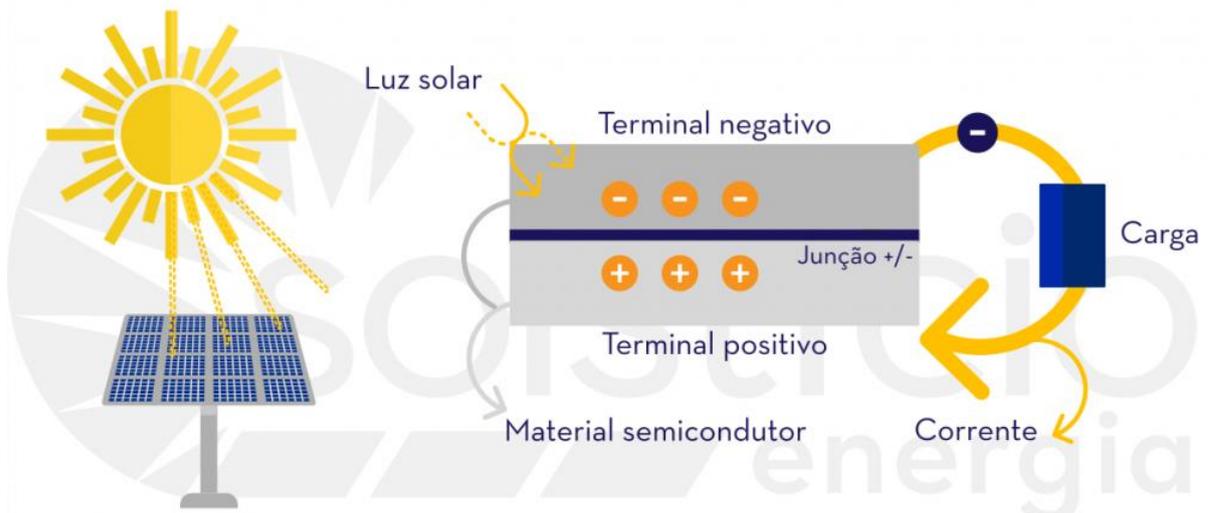
Paralelamente, de acordo com Reis e Vieira (2023), a energia solar fotovoltaica é uma forma eficiente de aproveitar a abundante energia solar disponível na maior parte do mundo. Eles destacam que, apesar da intermitência da geração, a energia solar fotovoltaica tem um enorme potencial para contribuir para a diversificação da matriz energética e para a segurança energética.

No que concerne aos princípios e fundamentos, a tecnologia fotovoltaica baseia-se no princípio físico do efeito fotoelétrico, que é o fenômeno que ocorre quando a luz solar incide

sobre um material semicondutor e gera uma corrente elétrica. Este princípio foi primeiro observado por Alexandre-Edmond Becquerel em 1839 e desde então tem sido a base da geração de energia solar fotovoltaica (VIAN, 2022).

Retomando o livro "O sol vai voltar amanhã: um espectro de análise sobre a energia" (PUC-RIO; PETROGAL BRASI, 2020), este descreve detalhadamente o funcionamento de uma célula fotovoltaica. Segundo o material, a célula é composta por duas camadas de material semicondutor. A camada superior, chamada de camada N, é dopada com um material que tem elétrons extras, enquanto a camada inferior, chamada de camada P, é dopada com um material que tem uma falta de elétrons. Quando a luz solar incide sobre a célula, os elétrons na camada N são excitados e se movem para a camada P, criando uma diferença de potencial elétrico entre as duas camadas. Este movimento de elétrons é o que gera a corrente elétrica. A Figura 1 ilustra o processo mencionado.

Figura 1 – Funcionamento da célula fotovoltaica



Fonte: <https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/>

A energia solar fotovoltaica também tem uma ampla gama de aplicações, variando de pequenas escalas a grandes usinas de energia. Devido à sua versatilidade e sustentabilidade, a energia fotovoltaica tem sido utilizada em uma variedade de cenários, impactando positivamente muitas esferas da vida contemporânea.

Em pequena escala, a energia fotovoltaica é utilizada em aparelhos como calculadoras, relógios, lanternas e carregadores portáteis. Segundo Barbosa *et al.* (2021), esses dispositivos utilizam pequenas células solares que convertem a luz solar em energia elétrica, permitindo o funcionamento mesmo em locais remotos ou sem acesso à rede elétrica.

Além disso, o uso da energia solar fotovoltaica em residências tem crescido rapidamente. Sistemas fotovoltaicos residenciais são normalmente instalados no telhado ou no quintal e geram eletricidade suficiente para atender à demanda da casa. Conforme destacado por Machado *et al.* (2022), estes sistemas não apenas reduzem a dependência da rede elétrica e diminuem as contas de luz, mas também permitem que os excessos de energia gerados sejam vendidos de volta à rede, gerando uma receita adicional.

No âmbito comercial e industrial, a energia fotovoltaica é utilizada para alimentar edifícios, fábricas e fazendas. Segundo Silva e Reis (2023), a energia solar pode significar economia substancial nos custos de energia elétrica para empresas, contribuindo simultaneamente para as metas de sustentabilidade e redução de emissões de carbono.

As usinas solares, que são sistemas fotovoltaicos em grande escala, representam outra aplicação importante da energia fotovoltaica. Estas usinas, conforme destacado por Lima e Santos (2023), fornecem energia para a rede elétrica, ajudando a diversificar a matriz energética e a reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis.

Outra aplicação significativa da energia fotovoltaica é em sistemas isolados, como os usados em locais remotos onde a rede elétrica não está disponível. Gonçalves e Rocha (2021) salientam que os sistemas fotovoltaicos podem fornecer energia para iluminação, bombeamento de água, refrigeração e outras necessidades básicas nestes locais.

### **3.4 Componentes do sistema fotovoltaico**

A geração de energia elétrica por meio da tecnologia fotovoltaica envolve a utilização de diversos componentes que desempenham papéis essenciais no processo. Esses componentes, cuidadosamente projetados e integrados, garantem a eficiência e a confiabilidade da conversão da luz solar em eletricidade. Essa sessão busca explorar os principais componentes do sistema fotovoltaico e sua importância na geração de energia sustentável.

O primeiro componente fundamental é o painel fotovoltaico, também conhecido como módulo fotovoltaico. Os painéis são responsáveis por converter a energia solar em eletricidade.

Eles são compostos por células fotovoltaicas interconectadas, geralmente feitas de silício cristalino. As células fotovoltaicas capturam a luz solar e a transformam em corrente contínua (CC), que é a forma de eletricidade gerada pelos painéis (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Duffie e Beckman (2013) ressaltam que a eficiência dos painéis fotovoltaicos depende de vários fatores, incluindo a qualidade dos materiais semicondutores e a geometria das células fotovoltaicas. Esses avanços na tecnologia dos materiais têm levado a um aumento significativo na eficiência dos painéis fotovoltaicos nos últimos anos, tornando a energia solar uma opção cada vez mais viável.

Além disso, Messenger e Ventre (2010) ressaltam a importância do dimensionamento adequado dos painéis fotovoltaicos para otimizar a geração de energia solar. Isso envolve considerar fatores como a demanda de energia, a localização geográfica, a orientação e inclinação dos painéis, bem como a disponibilidade de espaço.

Os materiais mais comumente utilizados nas células fotovoltaicas são o silício cristalino, tanto mono como policristalino, e as camadas finas de telureto de cádmio, dissulfeto de cobre-indio-gálio (CIGS) e arsenieto de gálio (GaAs). Cada um desses materiais possui características únicas em termos de eficiência de conversão, custo e aplicações específicas (SOLANKI, 2013).

Solanki (2013) destaca a importância do silício como um dos materiais mais utilizados nas células fotovoltaicas devido à sua disponibilidade, estabilidade e eficiência. O silício policristalino é mais comum e possui um custo mais baixo, enquanto o silício monocristalino oferece uma maior eficiência de conversão, mas com um custo um pouco mais alto.

Além do material semicondutor, a estrutura das células fotovoltaicas também desempenha um papel crucial na eficiência e no desempenho dos painéis. Diferentes configurações, como células monocristalinas, multicristalinas ou de filme fino, possuem diferentes propriedades de absorção de luz e eficiência energética. O uso de camadas antirreflexo e tecnologias de células bifaciais também pode melhorar a eficiência dos painéis, permitindo uma maior captação de luz solar (ABSOLAR, 2019).

Outro aspecto importante é a orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos. A exposição adequada à luz solar é essencial para maximizar a geração de energia. A orientação ideal dos painéis é voltada para o sul (no hemisfério norte) ou para o norte (no hemisfério sul) para aproveitar ao máximo a radiação solar direta. Além disso, a inclinação dos painéis deve ser ajustada de acordo com a latitude da região para obter o melhor ângulo de incidência solar (ABSOLAR, 2019).

Além dos painéis fotovoltaicos, outro componente essencial do sistema é o inversor. Ele desempenha o papel crucial de converter a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis em corrente alternada (CA), que é a forma de eletricidade utilizada na maioria das residências e empresas. O inversor é responsável por sincronizar a eletricidade gerada com a rede elétrica, garantindo que a energia solar seja utilizada de forma eficiente e segura (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Destaca-se a importância do inversor na otimização do desempenho dos sistemas fotovoltaicos e na maximização do aproveitamento da energia solar. Os inversores modernos também incorporam recursos avançados, como monitoramento de desempenho e funções de comunicação, que permitem o controle e a análise dos dados de geração em tempo real (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Os inversores modernos possuem recursos avançados de monitoramento e controle, permitindo que os usuários acompanhem o desempenho do sistema em tempo real. Esses recursos são essenciais para identificar possíveis problemas de desempenho, como sombreamento dos painéis, falhas no sistema ou necessidade de manutenção (KRISHNA; FAUZAN, 2021).

Outro componente relevante é a estrutura de suporte dos painéis fotovoltaicos. Essas estruturas fornecem suporte físico e garantem a correta orientação dos painéis em relação à luz solar. Elas devem ser projetadas para suportar as condições climáticas e garantir a estabilidade e segurança dos painéis ao longo do tempo. A escolha adequada da estrutura é essencial para otimizar o desempenho do sistema e garantir uma longa vida útil dos componentes (KRISHNA; FAUZAN, 2021).

Krishna e Fauzan (2021) também destacam que a escolha adequada da estrutura de suporte pode aumentar a eficiência do sistema fotovoltaico, permitindo que os painéis capturem a máxima quantidade de radiação solar disponível. Portanto, a seleção cuidadosa da estrutura é essencial para otimizar o desempenho do sistema e aumentar a produção de eletricidade.

Além dos componentes mencionados, outros elementos desempenham papéis importantes no sistema fotovoltaico, como o controlador de carga e as baterias, quando utilizadas em sistemas autônomos. O controlador de carga gerencia a energia proveniente dos painéis fotovoltaicos, garantindo que ela seja adequadamente armazenada nas baterias ou utilizada para alimentar cargas específicas. Esse componente desempenha um papel crucial na proteção e no controle do fluxo de energia dentro do sistema.

Mayfield (2019) destaca que o controlador de carga e as baterias são essenciais para fornecer energia constante em sistemas autônomos, como em aplicações remotas ou em locais sem acesso à rede elétrica. O controle adequado da carga e descarga das baterias é crucial para prolongar sua vida útil e garantir um fornecimento estável de energia.

Ao longo dos anos, pesquisadores e cientistas têm se dedicado ao desenvolvimento de novos materiais, técnicas de fabricação e métodos de controle para aprimorar ainda mais os componentes do sistema fotovoltaico. A pesquisa contínua nessa área é fundamental para impulsionar a eficiência, a confiabilidade e a acessibilidade da energia solar fotovoltaica.

Assim, os componentes do sistema fotovoltaico desempenham papéis cruciais na conversão da luz solar em eletricidade. Os painéis fotovoltaicos, o inversor, a estrutura de suporte, o controlador de carga e as baterias, quando aplicáveis, trabalham em conjunto para garantir a eficiência, a confiabilidade e a maximização do aproveitamento da energia solar. A evolução contínua desses componentes impulsiona o avanço da energia solar fotovoltaica como uma fonte sustentável e viável para o fornecimento de eletricidade.

### **3.5 Vantagens e desafios da energia solar fotovoltaica**

A busca por alternativas sustentáveis e renováveis no setor energético tem se tornado cada vez mais relevante em um mundo que enfrenta os desafios das mudanças climáticas e da escassez dos recursos naturais. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica desponta como uma solução promissora, capaz de proporcionar uma série de vantagens ambientais, econômicas e sociais. No entanto, como em toda tecnologia emergente, a implantação em larga escala desse tipo de energia também enfrenta desafios e obstáculos. Esta sessão se propõe a explorar as vantagens e desafios da energia solar fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica apresenta uma série de vantagens que a tornam uma opção atraente para a geração de eletricidade. Em primeiro lugar, destaca-se sua natureza renovável e inesgotável, uma vez que é baseada na captação da luz solar. Segundo Abbass (2021), a energia solar é uma fonte abundante e acessível, disponível em todos os lugares do planeta. Essa característica confere à energia solar uma grande vantagem sobre fontes de energia não renováveis, como os combustíveis fósseis, que são finitos e causam impactos ambientais negativos.

Além disso, a energia solar fotovoltaica não emite poluentes atmosféricos durante sua operação, o que contribui significativamente para a redução da emissão de gases de efeito estufa. De acordo com Gillingham *et al.* (2021), essa redução na emissão de poluentes é

essencial para mitigar as mudanças climáticas e melhorar a qualidade do ar, trazendo benefícios diretos para a saúde pública e para o meio ambiente.

Outra vantagem importante da energia solar fotovoltaica é sua capacidade de geração distribuída. Segundo David *et al.* (2020), essa tecnologia permite a produção de energia próxima ao consumo, reduzindo as perdas no transporte e na distribuição, além de possibilitar a independência energética de comunidades isoladas. Essa descentralização da geração contribui para a resiliência do sistema elétrico e para a segurança energética, evitando a interrupção do fornecimento em caso de desastres naturais ou falhas em linhas de transmissão.

No entanto, apesar das inúmeras vantagens da energia solar fotovoltaica, ainda existem desafios a serem enfrentados para sua plena adoção e integração no sistema energético. Um dos principais desafios diz respeito aos altos custos de instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos. Conforme aponta Avila *et al.* (2022), embora os preços dos painéis solares tenham diminuído significativamente nas últimas décadas – cerca de 90% desde 2010 –, o investimento inicial necessário para a implantação de sistemas solares fotovoltaicos ainda pode ser uma barreira para muitos consumidores e empresas.

Outro desafio relacionado à energia solar fotovoltaica é a intermitência da geração, já que a produção de eletricidade depende da disponibilidade de luz solar. Segundo Shafiullah e Ahmed (2022), essa variabilidade pode causar problemas de estabilidade e confiabilidade no sistema elétrico, especialmente quando a participação da energia solar é alta. Para contornar essa questão, é necessário desenvolver tecnologias de armazenamento de energia mais eficientes e investir em sistemas de gestão inteligente da rede elétrica.

Outro desafio significativo relacionado à energia solar fotovoltaica é a necessidade de expansão da infraestrutura elétrica para acomodar a integração eficiente e confiável da geração solar. Segundo Alshahrani *et al.* (2019), a adição em massa de sistemas solares fotovoltaicos requer investimentos substanciais na modernização e no reforço das redes de transmissão e distribuição de energia. Essas melhorias são fundamentais para garantir a estabilidade do sistema e evitar sobrecargas ou perdas desnecessárias de energia.

Além disso, a variabilidade da produção solar ao longo do dia e das estações do ano pode criar desafios específicos na gestão e no planejamento do sistema elétrico. Nesse sentido, é necessário desenvolver soluções avançadas de previsão de geração solar e de gerenciamento da demanda. De acordo com Benti e Diro (2023), a aplicação de técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina pode desempenhar um papel crucial na otimização do uso da energia solar e na minimização dos impactos da sua intermitência.

Ademais, a expansão da energia solar fotovoltaica requer o envolvimento e o apoio de múltiplos atores, incluindo governos, setor privado, instituições acadêmicas e sociedade civil. De acordo com Franco e Groesser (2021), a colaboração e a cooperação entre esses diferentes agentes são essenciais para superar os desafios técnicos, financeiros e regulatórios relacionados à energia solar fotovoltaica. É necessário estabelecer parcerias estratégicas e políticas de cooperação internacional que incentivem a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação de soluções solares inovadoras.

Além dos desafios técnicos e econômicos, é fundamental superar as questões regulatórias e políticas que afetam a adoção da energia solar fotovoltaica. Conforme argumenta Mohamed *et al.* (2019) a criação de políticas de incentivo e o estabelecimento de um marco regulatório adequado são essenciais para promover o crescimento desse setor e atrair investimentos. É necessário também capacitar profissionais qualificados e desenvolver infraestrutura adequada para a implantação e manutenção dos sistemas solares fotovoltaicos.

Além disso, um desafio significativo associado a essa tecnologia é a reciclagem das placas solares fotovoltaicas. Avila *et al.* (2021) destacam que, embora as placas solares sejam feitas de materiais recicláveis, como silício, alumínio e vidro, o processo de reciclagem ainda não está totalmente desenvolvido e eficiente. A complexidade da reciclagem das placas solares reside no fato de que elas contêm substâncias tóxicas, como chumbo e cádmio, que podem representar riscos ambientais e para a saúde humana se não forem tratadas adequadamente.

De acordo com Yu *et al.* (2022), a baixa taxa de reciclagem das placas solares fotovoltaicas pode ser atribuída à falta de infraestrutura e à ausência de regulamentações específicas. Além disso, a demanda atual por reciclagem é relativamente baixa, já que muitas das primeiras instalações solares ainda estão em operação e não atingiram o fim de sua vida útil.

No entanto, é fundamental abordar esse desafio de forma proativa. Diversos pesquisadores, como Yu *et al.* (2022), têm se dedicado a estudar e desenvolver tecnologias de reciclagem eficientes e sustentáveis para as placas solares fotovoltaicas. Esses esforços visam minimizar os impactos ambientais e aprimorar o aproveitamento dos materiais contidos nas placas, evitando a disposição inadequada e a contaminação do solo e dos recursos hídricos.

A energia solar fotovoltaica apresenta uma série de vantagens que a tornam uma opção atraente para a geração de eletricidade, proporcionando benefícios ambientais, econômicos e sociais. Sua natureza renovável, a redução de emissões de poluentes e a capacidade de geração distribuída são apenas algumas das vantagens que tornam essa tecnologia uma aliada na

transição energética global. No entanto, é preciso superar desafios como os custos – apesar do preço ter diminuído consideravelmente nos últimos anos, como informado anteriormente –, a intermitência da geração e as questões regulatórias para que a energia solar fotovoltaica possa alcançar seu potencial máximo.

### **3.6 O consumo de energia elétrica nas universidades federais brasileiras**

Transpondo as considerações anteriores no contexto das universidades federais do Brasil, verifica-se que, assim como outras instituições de ensino superior em todo o mundo, enfrentam desafios significativos na gestão de energia. O aumento do consumo de energia elétrica, impulsionado pelo crescimento do número de estudantes, da infraestrutura e das atividades de pesquisa, apresenta desafios tanto em termos de custos operacionais quanto de sustentabilidade ambiental (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Um dos principais desafios na gestão de energia em universidades federais está relacionado à ineficiência energética de suas instalações e equipamentos. Muitos edifícios universitários foram construídos décadas atrás e, portanto, não possuem tecnologias e práticas de construção eficientes em termos energéticos (MACHADO *et al.*, 2015). Além disso, as universidades costumam abrigar laboratórios e equipamentos de pesquisa de alto consumo energético, o que contribui para o aumento do consumo de energia elétrica nessas instituições (SANTOS *et al.*, 2017).

Outro desafio é a falta de políticas e práticas efetivas de gestão de energia em muitas universidades federais. A inexistência de planos estratégicos e ações voltadas à eficiência energética e sustentabilidade, combinada com a falta de conscientização entre os membros da comunidade universitária sobre a importância de economizar energia, podem levar ao desperdício e ao uso ineficiente de energia (COSTA *et al.*, 2018).

Além disso, a crescente demanda por energia elétrica nas universidades federais também exerce pressão sobre os recursos financeiros dessas instituições. O aumento dos custos com energia elétrica pode impactar negativamente os orçamentos das universidades, levando à redução de investimentos em outras áreas, como pesquisa e desenvolvimento, contratação de pessoal e melhorias na infraestrutura (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, algumas universidades federais brasileiras têm buscado adotar medidas para melhorar a eficiência energética e reduzir o consumo. Essas ações incluem a

implantação de sistemas de monitoramento e controle de energia, a substituição de equipamentos e sistemas ineficientes por tecnologias mais modernas e eficientes, e a conscientização da comunidade universitária sobre a importância da economia de energia (MACHADO *et al.*, 2015).

No entanto, alguns dados demonstram que ainda há um longo caminho a percorrer para que as universidades federais do Brasil atinjam um padrão elevado de eficiência energética e sustentabilidade. Segundo um estudo realizado por Ribeiro *et al.* (2018), o consumo de energia elétrica nas universidades federais brasileiras cresceu 44% entre 2005 e 2015, passando de 1,6 TWh para 2,3 TWh. Esse aumento significativo pode ser justificado pela expansão do número de universidades federais quanto pelo crescimento das atividades de ensino, pesquisa e extensão nessas instituições. Além disso, o estudo também aponta que os custos com energia elétrica nessas universidades aumentaram 3,5 vezes no mesmo período, saltando de R\$ 240 milhões para R\$ 840 milhões (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Outra pesquisa, conduzida por Santos *et al.* (2017), analisou o consumo de energia elétrica em 11 universidades federais brasileiras e identificou que, em média, 54% do consumo total de energia ocorre em prédios acadêmicos, seguidos por 29% em prédios administrativos e 17% em alojamentos estudantis e outras instalações.

A literatura de base sugere que para enfrentar esses desafios e promover a eficiência energética e a sustentabilidade nas universidades federais do Brasil, é necessário adotar uma abordagem integrada e multidisciplinar, incluindo:

1. Realizar auditorias energéticas e diagnósticos de eficiência energética para identificar oportunidades de melhoria e estabelecer metas de redução de consumo de energia (COSTA *et al.*, 2018).
2. Estabelecer políticas e programas de gestão de energia que promovam a eficiência energética, a sustentabilidade e a redução do consumo de energia, incluindo planos de ação específicos e metas de curto, médio e longo prazo (MACHADO *et al.*, 2015).
3. Investir em tecnologias e sistemas de monitoramento e controle de energia, que permitam acompanhar o consumo de energia em tempo real e identificar possíveis fontes de desperdício e ineficiência (SANTOS *et al.*, 2017).

4. Promover a conscientização e a educação entre os membros da comunidade universitária sobre a importância da economia de energia e a adoção de práticas sustentáveis no ambiente acadêmico (RIBEIRO *et al.*, 2018).
5. Integrar princípios de sustentabilidade e eficiência energética no planejamento e na construção de novos edifícios e instalações universitárias, bem como na reforma e modernização de edifícios existentes (COSTA *et al.*, 2018).
6. Estimular a pesquisa e o desenvolvimento de soluções inovadoras em eficiência energética, energias renováveis e sustentabilidade, que possam ser aplicadas tanto no ambiente acadêmico quanto na sociedade em geral (LEAL *et al.*, 2019).

Sendo assim, é perceptível que a gestão de energia nas universidades federais do Brasil enfrenta desafios significativos, que exigem ações coordenadas e integradas por parte das instituições e de seus membros, mas que a adoção de medidas voltadas à eficiência energética, sustentabilidade e redução do consumo de energia elétrica pode contribuir para a preservação do meio ambiente, redução de custos operacionais e o fortalecimento da imagem das universidades como instituições comprometidas com a responsabilidade socioambiental.

## **4 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E IMPACTO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO**

### **4.1 Breve análise do perfil energético da Universidade Federal de Ouro Preto – campus Morro do Cruzeiro**

A Universidade Federal de Ouro Preto é um estabelecimento de ensino público e gratuito, conhecido por prover educação de alta qualidade. A UFOP disponibiliza 47 programas de graduação presenciais e 4 em formato remoto, abrangendo 12 unidades acadêmicas distribuídas em três municípios: Ouro Preto, Mariana e João Monlevade. Além disso, a instituição é dotada de mais de 100 laboratórios que englobam um vasto espectro de áreas de estudo, e oferece uma gama diversificada de cursos de pós-graduação, incluindo 24 mestrados acadêmicos, 8 mestrados profissionais, 15 doutorados e 10 especializações (MORAIS, 2023).

A UFOP foi estabelecida em 21 de agosto de 1969, resultante da fusão entre a renomada Escola de Farmácia e a Escola de Minas. A primeira teve sua origem no ano de 1839, enquanto a segunda foi fundada em 1876 pelo cientista francês Henri Gorceix, inicialmente situada no Palácio dos Governadores e, posteriormente, em 1995, transferida para o Morro do Cruzeiro, situado no Bairro Bauxita em Ouro Preto (MORAIS, 2023).

Ao longo dos anos, houve a expansão da infraestrutura com a construção de novos edifícios, incluindo a Escola de Nutrição, Medicina, Direito, entre outros, localizados também nas cidades de Mariana e João Monlevade. No seu conjunto, a universidade acolhe mais de 11.000 estudantes e mantém um quadro de aproximadamente 681 profissionais técnico-administrativos, além de cerca de 900 docentes, compreendendo efetivos e substitutos (MORAIS, 2023).

Adentrando no campus Morro do Cruzeiro da universidade, verifica-se que este é abastecido por energia elétrica fornecida pela empresa CEMIG, através de uma subestação situada no local, que opera em tensão primária de 13,8 kV. A referida subestação, com área aproximada de 80 metros quadrados, é de tipo abrigada e suas infraestruturas essenciais têm sido preservadas conforme o projeto original (UFOP, 2012).

Inspeções regulares são executadas pela equipe da UFOP, que incluem avaliações visuais e monitoramento de temperatura por meio de equipamentos de medição à distância. Adicionalmente, a subestação é submetida a uma manutenção programada, contratada através

de processo licitatório. Durante essa manutenção, são efetuados ajustes nas conexões, bem como verificações dos registros e da resistência dielétrica dos materiais isolantes dos transformadores e disjuntores. O processo de manutenção também inclui uma limpeza geral.

Ao longo dos anos, o campus tem testemunhado uma notável expansão física, com perspectivas de contínua ampliação no futuro. Acompanhando esse crescimento, novos dispositivos elétricos foram e continuam a ser incorporados, o que acarreta um aumento na necessidade de fornecimento de energia por parte da empresa concessionária.

Atualmente, a subestação está equipada com capacidade suficiente para suprir as demandas emergentes, sendo necessário apenas realizar ajustes nos valores contratados com a concessionária. Tais ajustes são efetuados através de acordos entre a UFOP e a CEMIG, conforme a instalação de novas cargas. Esse método de ajuste contratual escalonado visa a estabelecer uma demanda contratada que seja mais apropriada, com o intuito de manter os custos de energia elétrica tão reduzidos quanto possível. Isso evita o pagamento excessivo por energia não utilizada e também previne a incidência de multas devido à superação do valor contratado. Atualmente, a demanda contratada está fixada em 900 kW.

De qualquer forma, vale ressaltar que o consumo de energia elétrica do campus tem gerado alguns transtornos. Nota-se, por exemplo, uma prevalência significativa de ocorrências relacionadas com interrupções no abastecimento de energia elétrica. Tais interrupções podem ser atribuídas a uma variedade de fatores. Em determinados casos, as descargas atmosféricas, decorrentes de condições climáticas adversas, são as responsáveis. Em outros, a interrupção pode ser consequência de ações da própria concessionária de energia.

Além disso, há situações imprevistas que podem causar interrupções, como ilustrado por um incidente já ocorrido: devido a um aguaceiro intenso e inesperado, a água conseguiu superar a barreira do telhado, acumulando-se sobre a laje. Uma rachadura na laje permitiu que a água infiltrasse e caísse sobre um disjuntor de 23,8 kV, ocasionando um curto-circuito e resultando no desligamento da subestação.

Ainda no que concerne às interrupções de energia elétrica, verifica-se que outros incidentes semelhantes, em virtude de imprevistos ou manutenção, ocorreram frequentemente nos anos de 2012, 2013, 2015, 2017, 2019 e 2021.

Considerando às faturas de energia elétrica do Campus e o intervalo temporal levado em consideração abrangeu os meses de janeiro a dezembro de 2022, tem-se:

Figura 2 - Histórico de consumo de energia elétrica da UFOP em 2022

Histórico de Consumo - UFOP - 2022					
Mês/Ano	Demanda (kW)		Energia (kWh)		Total de energia consumida (kWh)
	HP	HFP	HP	HFP	
jan/22	392	448	22.400	226.800	249.200
fev/22	420	518	22.400	219.800	242.200
mar/22	616	742	32.200	285.600	317.800
abr/22	616	756	30.800	281.400	312.200
mai/22	714	812	42.000	309.400	351.400
jun/22	672	742	35.000	280.000	315.000
jul/22	616	686	30.800	271.600	302.400
ago/22	700	770	43.400	316.400	359.800
set/22	756	826	40.600	306.600	347.200
out/22	742	826	37.800	296.800	334.600
nov/22	658	686	30.800	233.800	264.600
dez/22	672	756	29.400	236.600	266.000
<b>Média</b>	<b>631,17</b>	<b>714</b>	<b>33.133</b>	<b>272.067</b>	<b>305.200</b>

Fonte: MORAIS, 2023, p. 59.

Como observado, em termos médios, o Campus Morro do Cruzeiro registra um consumo de 305.200 kWh mensalmente. É importante enfatizar que há certas particularidades, tais como: meses que contêm um número maior de feriados, períodos de férias e também épocas em que as aulas ocorrem diariamente sem a presença de dias facultativos.

#### 4.2 Impacto da geração de energia fotovoltaica e geração de renda para a UFOP

A mini usina entrou em atividade na UFOP, efetivamente, em outubro de 2022. Em Ouro Preto, as unidades de geração de energia foram alocadas sobre os laboratórios da Escola de Minas e no Centro de Educação Aberta e a Distância (Cead), com uma potência de geração de 351,12 kWp, equivalente ao dimensionamento em quilowatt-pico, e 40.982,42 kWh por mês.

Com as placas solares seguindo o modelo *on-grid* – Figura 3 –, caracterizado pela conversão de energia solar em energia elétrica de forma integrada ao sistema, veio um impacto imediato na economia de energia fornecida externamente por centrais elétricas. Segundo a reitora Cláudia Marlière, a redução no consumo é significativamente importante não apenas como meio de diminuir os custos, mas também como uma estratégia de mitigação de impactos socioambientais.

Figura 3 - Placas fotovoltaicas no campus morro do cruzeiro



Fonte: Universidade Federal de Ouro Preto, 2023.

No caso da universidade, são usadas as placas do modelo monocristalinas de alta performance do modelo RSM156-6-425M-445M, com eficiência máxima de 20.5%, voltagem máxima de 1500VDC e mono PERC Module de 156CELL. Esse tipo de placa tem como principais características positivas a maior eficiência de geração e a necessidade de um menor espaço de instalação, mas carrega como ponto negativo a maior geração de resíduos e o maior preço de instalação.

Importa destacar, ainda, a utilização de um inversor. Um inversor solar *on grid*, também conhecido como inversor conectado à rede, é um equipamento essencial em qualquer sistema fotovoltaico. Sua função principal é converter a energia solar captada pelos painéis solares de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), que é a forma de energia utilizada pela maioria dos equipamentos elétricos e pela rede elétrica em geral. Além disso, o inversor solar tem a capacidade de sincronizar essa energia produzida com a da rede elétrica, permitindo seu uso imediato ou seu direcionamento para a rede, gerando créditos de energia.

Nesta esfera, importa evidenciar o papel do *net metering*. Net metering, ou "medição líquida" em português, é um sistema que permite que os produtores de energia fotovoltaica vendam o excesso de energia gerada de volta para a rede elétrica. É uma forma de incentivar a produção de energia renovável, permitindo que os consumidores reduzam seus custos de energia e promovam a sustentabilidade. É possível explorar este conceito em algumas resoluções e leis:

1. **Resolução ANEEL 482/2012:**

- Esta foi a primeira regulamentação significativa sobre o tema no Brasil.
- Introduziu o Sistema de Compensação de Energia, permitindo que consumidores gerem sua própria energia a partir de fontes renováveis e injetem o excedente na rede elétrica.
- A energia excedente poderia ser utilizada como crédito para abater o consumo em meses subsequentes.
- Limitações foram impostas em termos de capacidade de geração e a compensação era válida apenas dentro do mesmo mês.

## 2. Resolução ANEEL 687/2015:

- Esta resolução veio para atualizar e expandir a Resolução 482/2012.
- Aumentou o escopo de consumidores e empreendimentos que podem se beneficiar do sistema de compensação.
- Os créditos de energia excedente passaram a ter uma validade maior, estendida para 60 meses, permitindo uma maior flexibilidade no uso dos créditos.
- Também introduziu o conceito de geração compartilhada, permitindo que múltiplos consumidores se beneficiem de uma mesma usina geradora.

## 3. Lei 14.300/2021:

- Esta lei representa um marco na legislação de energia fotovoltaica no Brasil.
- Oferece um suporte legal mais robusto para o *net metering*, incentivando ainda mais a geração de energia renovável no país.
- Busca resolver algumas das lacunas e limitações das resoluções anteriores, consolidando o cenário regulatório.
- Pode incluir medidas como isenções fiscais, regulamentações específicas para diferentes tipos de consumidores e outros incentivos para promover a geração distribuída de energia.

Ainda no universo da ANEEL, importa destacar ainda que houve uma alteração importante entre 2012 e 2015 no que diz respeito às potências da Microgeração e Minigeração. Em linhas gerais, a Microgeração corresponde a uma potência menor ou igual a 75 quilowatts

(kW); já a segunda, corresponde a uma potência maior que 75 quilowatts (kW), limitada a 3 megawatts (MW) para fonte hídrica e 5MW para as demais fontes.

Retomando a discussão sobre o inversor solar, no caso da UFOP, utiliza-se o GOODWE GW60KN-MT – Figura 4. Com uma voltagem mínima de entrada de 200V e uma voltagem máxima de 1000V, este dispositivo é capaz de operar em uma ampla gama de condições, tornando-o uma escolha versátil para vários sistemas fotovoltaicos. Quanto à voltagem de saída, ela se mantém constante em 380V, adequada para muitos sistemas elétricos residenciais e comerciais.

Figura 4 – Inversor GOODWE GW60KN-MT



Fonte: elaboração própria.

No que diz respeito à sua potência, este inversor é capaz de operar a uma potência máxima de 60000 W, com uma potência de pico de 66000 W, tornando-o também adequado para sistemas fotovoltaicos de grande escala.

Este inversor tem dimensões robustas, com uma altura de 586 mm, largura de 788 mm e comprimento de 264 mm, pesando 64 kg. Essas características, além de sua construção resistente, garantem sua durabilidade e capacidade de resistir a diferentes condições ambientais.

Além disso, o inversor gera uma onda senoidal, que é a forma de onda mais comum e ideal para a maioria dos dispositivos elétricos. As ondas senoidais são suaves e contínuas, garantindo um fornecimento estável de energia e minimizando a possibilidade de danos aos equipamentos conectados.

Na perspectiva da capacidade de produção de energia, verificou-se um impacto inicial significativo. Considerando os números entre outubro e dezembro de 2022, a geração de energia em novembro se destacou, atingindo 37010.5 (kWh) – como se observa no relatório anual expresso na tabela 2 e no Gráfico 1.

Tabela 2 – Relatório Anual de 2022 de geração de energia na Universidade Federal de Ouro Preto

Mês/2022	Classificação	Capacidade (kW)	Geração de energia (kWh)	Radiação (kWh/m)	Renda (R\$)
1	Telhado comercial	351	0.7	0	0.44
2	Telhado comercial	351	2067	0	1302.21
3	Telhado comercial	351	9295.4	0	5856.1
4	Telhado comercial	351	2558.6	0	1611.92
5	Telhado comercial	351	536.1	0	337.74
6	Telhado comercial	351	445.8	0	280.85
7	Telhado comercial	351	166.6	0	104.96
8	Telhado comercial	351	0	0	0
9	Telhado comercial	351	635.4	1.67	400.3
10	Telhado comercial	351	15990.8	0.08	10074.2
11	Telhado comercial	351	37010.5	0	23316.62
12	Telhado comercial	351	31576.8	0	19893.38
<b>TOTAL</b>			100283.7		63178.72

Fonte: elaboração própria.

Gráfico 1 - Geração de energia na Universidade Federal de Ouro Preto em 2022



Fonte: conforme dados coletados da UFOP.

Além da eficiência na geração de energia, constatou-se, ainda, no quesito renda, que a soma dos meses de outubro, novembro e dezembro revelam uma economia na despesa de mais de 50 mil reais.

Adentrando no ano de 2023, percebe-se que a universidade continua produzindo números significativos na geração de energia. Já no mês de janeiro teve seu pico máximo, superando o mês de novembro de 2022, atingindo, portanto, 38148,8 KW/h. Em termos de renda, trata-se de um abatimento na conta de eletricidade da universidade no valor de R\$24033,74, ou seja, um desconto de 10% na conta de luz. Esses e outros dados podem ser observados na Tabela 3 e Gráfico 2.

Tabela 3 - Relatório Parcial de 2023 de geração de energia na Universidade Federal de Ouro Preto

Mês/2022	Classificação	Capacidade (kW)	Geração de energia (kWh)	Radiação (kWh/m)	Renda (R\$)
1	Telhado comercial	351	38148.8	0	24033.74
2	Telhado comercial	351	31605.3	0	19911.34
3	Telhado comercial	351	29464.4	0	18562.57
4	Telhado comercial	351	25155.1	0	15847.71
5	Telhado comercial	351	20081.8	0	12651.53
6	Telhado comercial	351	19521.4	0	12296.48
7	Telhado comercial	351	12986	37.91	8181.16
<b>TOTAL</b>			176962.8		111486.55

Fonte: elaboração própria.

Gráfico 2 - Geração de energia na Universidade Federal de Ouro Preto em 2023 (parcial)



Fonte: elaboração própria.

É importante destacar que o número referente à produção de energia tem diminuído nos meses subsequentes devido às condições climáticas da cidade de Ouro Preto/MG, especialmente nos meses de maio, junho e julho, com a entrada do inverno. Ressalta-se também que os dados relacionados ao mês de julho são parciais, haja vista que no momento de análise, os valores não haviam sido fechados oficialmente. No entanto, mesmo com a perspectiva de redução na geração devido aos fatores supracitados, o ano de 2023 já demonstrou uma criação de renda em mais de R\$110 mil para a UFOP.

De qualquer modo, a queda nos números encontrados são os esperados, especialmente se se consulta trabalhos como o de Morais (2023). Na ocasião, o pesquisador estabeleceu uma previsão acerca da energia gerada pelas usinas fotovoltaicas nos meses entre abril e dezembro de 2023 baseada em dados entre outubro de 2022 e março de 2023 – Quadro 1.

Quadro 1 - Energia gerada pelas usinas fotovoltaicas em 2023 (projeção).

Mês [2023]	Energia Gerada [kWh]
Janeiro	38.148,80
Fevereiro	31.477,00
Março	26.509,79
Abril	23.918,20
Maio	21.272,62
Junho	20.678,72
Julho	21.704,55
Agosto	26.725,75
Setembro	27.589,62
Outubro	27.859,57
Novembro	25.861,89
Dezembro	28.885,41
Total	320.631,93

Fonte: MORAIS, 2023, p. 60.

Conforme a projeção, o mês de abril apresentaria a geração de energia de 23.918,20; o mês de maio, 21.272,62; e junho, 20.678,72. No presente estudo, os valores encontrados para esses meses foram 25.155,1; 20.081,8; e 19.521,4, respectivamente. Considerando os valores já fechados para julho de 2023 e a projeção de Morais (2023), espera-se que os valores fiquem em torno de 20 mil.

Atualmente, a universidade conta com o total de 7 inversores instalados, cada um com a capacidade de 50.000 KW/h, ou seja, a universidade tem capacidade total de produção de 350.000 KW/h.

Dentro de uma abordagem mais direcionada, pode-se afirmar com segurança que desde o mês 10/2022 até o dia 17/07/2023, a mini usina fotovoltaica do campus morro do cruzeiro já produziu 291.069,4 KW/h, tendo a média de 29.106,94 KW/h por mês, arrecadando, assim, mais de 180 mil reais - uma média de 18 mil reais por mês de produção. Sendo assim, o investimento da UFOP no sistema de energia fotovoltaica no valor de R\$1.212.453,85 tem confirmado a expectativa de economia mensal mencionada no projeto, sendo esta de R\$19.248,17. Neste cenário, a recuperação do capital investido ocorrerá dentro de cinco anos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta monografia, explorou-se o potencial da energia solar fotovoltaica como um recurso viável e sustentável para a eficiência energética na Universidade Federal de Ouro Preto, especificamente no campus Morro do Cruzeiro.

A energia solar apresenta-se como uma opção viável devido à ampla disponibilidade de recursos solares em todo o território brasileiro, além de ser uma fonte limpa e renovável. O cenário atual de mudanças climáticas e a necessidade de diversificação da matriz energética apontam para a energia solar como uma alternativa promissora para complementar a geração hidrelétrica no Brasil.

Neste estudo, consideramos tanto os benefícios quanto os desafios da implantação da energia solar na UFOP. Os benefícios incluem não apenas a economia nos gastos com energia elétrica, mas também a contribuição para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa e o fortalecimento do compromisso da instituição com a sustentabilidade e o meio ambiente. Entre os desafios, destacam-se a necessidade de adaptação dos modelos de simulação setoriais, a questão da variabilidade e previsibilidade da produção solar e a reciclagem de materiais após o fim da vida útil dos equipamentos.

Neste sentido, a aplicação prática de projetos de energia solar na UFOP tem o potencial de gerar economia significativa para a instituição, além de servir como um exemplo para outras universidades e instituições. Também pode promover a formação de profissionais capacitados para lidar com as tecnologias renováveis, fomentando a pesquisa e a inovação nesta área.

Como descrito no capítulo anterior, percebemos que a mini usina de geração localizada no Campus Morro do Cruzeiro produziu um total de 291.069,4 KW/h desde o início efetivo do seu funcionamento, e economizando o total de R\$183.373,72, contribuindo de forma efetiva na conta de energia elétrica da universidade, descontando cerca de 10% mensais no valor total a ser pago.

No entanto, é fundamental que o planejamento e implementação de tais projetos sejam realizados com cuidado, levando em consideração não apenas os custos de instalação e manutenção, mas também a questão do descarte e reciclagem dos equipamentos ao fim de sua vida útil.

Conclui-se, portanto, que a energia solar fotovoltaica, quando implementada de maneira estratégica e consciente, pode trazer benefícios significativos para a Universidade Federal de

Ouro Preto, tanto em termos econômicos quanto ambientais. Entretanto, são necessárias pesquisas e planejamentos adicionais para garantir que sua implementação seja eficaz e sustentável a longo prazo.

Vale ressaltar, que o presente trabalho é uma grande oportunidade para o desenvolvimento de futuros estudos ou iniciações científicas, podendo enfatizar o desempenho ambiental da instituição, que atualmente busca a implantação do ESG (*Environmental, Social and Governance*), que é um fator muito importante no cenário atual, possibilitando linear meio ambiente, sociedade e governança.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASS, K; QASIM, MZ; SONG, H; MURSHED, M; MAHMOOD, H; YOUNIS, I. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research* (2022) 29:42539–42559.
- ABSOLAR. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Definições. São Paulo: ABSOLAR, 2023.
- ADDO, V.; CRUICKSHANK, H. The role of productive uses of electricity in developing countries. *Energy for Sustainable Development*, v. 16, n. 2, p. 146-154, 2012.
- ALSHAHRANI, A; OMER, S; SU, Y; MOHAMED, E; ALOTAIBI, S. The Technical Challenges Facing the Integration of Small-Scale and Large-scale PV Systems into the Grid: A Critical Review. *Electronics*. 2019; 8(12):1443.
- ANEEL. Geração distribuída de energia elétrica: conceitos, regulamentação e benefícios. Brasília: ANEEL, 2023.
- AVILA, EV; PINTO JUNIOR, HQ; AVILA, MG. Energia solar e economia comportamental: o caso da Solar City. *Economia E Desenvolvimento*, 33, e7. 2022.
- BARBOSA, L. *et al.* Aplicações de pequena escala da energia solar fotovoltaica: estudo de caso. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 11, n. 2, p. 56-67, 2021.
- BAZILIAN, M. *et al.* Energy access scenarios to 2030 for the power sector in sub-Saharan Africa. *Utilities Policy*, v. 20, n. 1, p. 1-16, 2012.
- BENTI, NE; DIRO, M; SEMIE A. Forecasting Renewable Energy Generation with Machine learning and Deep Learning: Current Advances and Future Prospects. 2023.
- BERTOLDI, P.; RICCI, A.; DE ALEXANDRE, P. D. Energy Efficiency in Household Appliances and Lighting. Springer, 2012.
- BHATTACHARYYA, S. C. Energy economics: concepts, issues, markets and governance. Springer Science & Business Media, 2011.
- BRASIL. Lei nº 12.470, de 31 de agosto de 2011. Institui a Política Nacional de Eficiência Energética (PNEf). Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2011/Lei/L12470.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12470.htm).
- CAPELO, J. Gestão de energia. CETESB, 2004.

- CHERP, A.; JEWELL, J. The three perspectives on energy security: intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 3, n. 4, p. 202-212, 2011.
- COSTA, L. P.; SANTOS, L. A.; SILVA, M. R. (2018). Eficiência energética e sustentabilidade nas universidades federais: desafios e perspectivas. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 7(2), 250-266.
- DAVID TM, RIZOL PMSR, MACHADO MAG, BUCCIERI GP. Future research tendencies for solar energy management using a bibliometric analysis, 2000–2019. *Heliyon*. 2020 Jul; 6(7).
- DUFFIE, J.; BECKMAN, W.; *Solar Engineering of Thermal Processes*: John Wiley & Sons, Inc.; Madison, WI, 2013.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Nacional de Energia 2050. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- EPE (2020). Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro.
- FERREIRA, M. *et al.* A energia solar fotovoltaica como solução para as mudanças climáticas. *Revista de Energias Renováveis*, v. 12, n. 3, p. 234-248, 2021.
- FRANCO, MA; GROESSER, SN. A Systematic Literature Review of the Solar Photovoltaic Value Chain for a Circular Economy. *Sustainability*. 2021; 13(17):9615.
- GHOSH, S. *et al.* Role of renewable energy in achieving sustainable development goals. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, v. 6, n. 6, p. e261, 2017.
- GILLINGHAM KT, HUANG P, BUEHLER C, PECCIA J, GENTNER DR. The climate and health benefits from intensive building energy efficiency improvements. *Sci Adv*. 2021 Aug; 7(34).
- GIRI, P.; ROY, N. K.; KUMAR, A. Energy intelligence: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, v. 258, p. 120688, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120688>.
- GOLDEMBERG, J. The Brazilian energy matrix: from a materials science and engineering perspective. *Materials Research*, v. 22, n. suppl 1, 2019.

- GONÇALVES, R.; ROCHA, S. Sistemas isolados de energia solar fotovoltaica: aplicações e benefícios. *Revista de Tecnologias Renováveis*, v. 10, n. 1, p. 34-45, 2021.
- GRIMM, N. B. *et al.* Global change and the ecology of cities. *Science*, v. 319, n. 5864, p. 756-760, 2008.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy Efficiency 2020*. Paris: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2014*. Paris: IEA, 2014. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2014>.
- IEA. *World Energy Outlook 2019*. International Energy Agency. Paris, France.
- JACOBSON, M. Z. Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy & Environmental Science*, v. 2, n. 2, p. 148-173, 2009.
- JARAMILLO, P. *et al.* The role of policy in the evolution of the power sector and the growth of renewable energy in developing countries. *Energy Policy*, v. 69, p. 206-218, 2014.
- KRISHNA, Yathin; FAUZAN, Ir Ts Dr Mohd Faizal; GAN, N. Design and simulation of a rooftop PV System in Taylor's University Lakeside Campus. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021.
- LEAL, R. P. C.; OLIVEIRA, A. L.; LEAL, M. L. R. (2019). Inovação em eficiência energética e sustentabilidade: uma proposta para as universidades federais brasileiras. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica*, 2(1), 45-60.
- LEAL, V. M. S.; SZKLO, A.; SCHAEFFER, R. The rapid expansion of wind power in Brazil: an opportunity to mitigate the water impacts of hydropower. *Energy Policy*, v. 134, p. 110937, 2019.
- LIMA, F.; SANTOS, A. Usinas solares fotovoltaicas: uma revisão da tecnologia e das aplicações. *Revista de Energias Renováveis*, v. 12, n. 3, p. 150-163, 202
- LOVELINS, A. Energy strategy: the road not taken? *Foreign Affairs*, v. 55, n. 1, p. 65-96, 1977.
- LUCENA, A. F. P.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian electric power system. *Global Environmental Change*, v. 35, p. 207-216, 2015.

- MACHADO, J. A. S.; MIRANDA, V. M.; FERREIRA, A. L. (2015). Análise do potencial de economia de energia elétrica em universidades federais: um estudo de caso. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 7(3), 123-132.
- MACIEL, Letícia Mattos. Análise da sustentabilidade de cenários de planejamento energético integrado para o campus morro do cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto. Monografia – Departamento de Engenharia Ambiental, 2020, 89fls. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2819/1/MONOGRAFIA\\_AnaliseSustentabilidadeCenarios.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2819/1/MONOGRAFIA_AnaliseSustentabilidadeCenarios.pdf).
- MARENGO, J. A. *et al.* Water and climate impacts on the Amazon Basin's streamflow. *Climatic Change*, v. 136, n. 3-4, p. 413-429, 2016.
- MAYFIELD, R. *Photovoltaic Design & Installation For Dummies*. Learning Made Easy. 2019.
- MESSINGER, RA; VENTRE, J. *Photovoltaic Systems Engineering*, Third Edition: CRC Press; 2010.
- MOHAMED, AAR; MORROW, DJ; BEST, R. The Deployment of Low Carbon Technologies in Modern Distribution Networks. In 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe): Proceedings Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2019.
- MORAIS, João Paulo Estêvão. Análise da inserção de um sistema fotovoltaico no campus morro do cruzeiro. Monografia – Departamento de Engenharia Ambiental, 2023, 77fls.
- OMS (2021). Energia para a saúde: acesso à energia para melhorar a saúde. Organização Mundial da Saúde. Disponível em: <https://www.who.int/>
- PACHAURI, S.; SPRENG, D. Measuring and monitoring energy poverty. *Energy Policy*, v. 39, n. 12, p. 7497-7504, 2011.
- PUC-RIO; PETROGAL BRASIL. *O sol vai voltar amanhã; um espectro de análises sobre a energia fotovoltaica*. 1 ed. São Paulo: Lexikon Editora Digital, 2020.
- REIS, C.; VIEIRA, A. A energia solar fotovoltaica e a segurança energética. *Revista de Políticas Energéticas*, v. 6, n. 2, p. 44-58, 2023.
- RIBEIRO, A. P.; SALGADO, E. G.; ARAÚJO, M. A. (2018). Consumo de energia elétrica nas universidades federais brasileiras: uma análise do período de 2005 a 2015. *Revista Brasileira de Energia*, 24(1), 35-52.

- SANTOS, E. M.; GONÇALVES, A. S.; SANTOS, J. C. (2017). Análise do consumo de energia elétrica em universidades federais brasileiras. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 9(2), 84-96.
- SANTOS, Júlia de Almeida. Planejamento energético integrado em um parque urbano: estudo de caso em um município no interior de Minas Gerais. Universidade Federal de Ouro Preto – Monografia. 2022. 81fls.
- SHAFIULLAH, M; AHMED, S; AL-SULAIMAN, F. Grid Integration Challenges and Solution Strategies for Solar PV Systems: A Review. *IEEE Access*. 10. 1-1. 2022.
- SOLANKI CS. *Solar Photovoltaic Technology and Systems: A Manual for Technicians, Trainers and Engineers*. PHI. 2013.
- SORRELL, S. *et al.* The economics of energy efficiency: barriers to cost-effective investment. Edward Elgar Publishing, 2004.
- SOVACOOOL, B. K. The importance of comprehensiveness in renewable electricity and energy-efficiency policy. *Energy Policy*, v. 37, n. 4, p. 1529-1541, 2011.
- STOJILJKOVIĆ, M.; LAVIŠA, I.; MILOŠEVIĆ, M. A new concept of energy efficiency. *Thermal Science*, v. 20, p. S453-S460, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2298/TSCI16S3453S>.
- TOLMASQUIM, M. T. Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar,
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Informe sobre a situação da energia elétrica no campus Morro do Cruzeiro. Informe online. 26/11/2012 - 12:10. Disponível em: <https://ufop.br/noticias/informe-sobre-a-situao-da-energia-eltrica-no-campus-morro-do-cruzeiro>.
- VIAN, R. Fundamentos da energia solar fotovoltaica: tecnologia e aplicações. São Paulo: Editora Solar, 2022.
- WAIDE, P. *Energy Efficiency: A Worldwide Review*. Chichester: John Wiley & Sons, 1998.
- WORLD ENERGY COUNCIL. *World Energy Trilemma 2013: Time to get real – the case for sustainable energy investment*. London: World Energy Council, 2013. Disponível em: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WER\\_2013\\_1\\_Energy\\_sustainability\\_Index-2013.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WER_2013_1_Energy_sustainability_Index-2013.pdf).

YU, HF; HASANUZZAMAN, M; RAHIM, NA; AMIN, N; NOR, ADZMAN N. Global Challenges and Prospects of Photovoltaic Materials Disposal and Recycling: A Comprehensive Review. *Sustainability*. 2022; 14(14):8567.