INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS

MARCOS CAMPOS DE ANDRADE

ESTUDO DE CASO SOBRE O SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO IFMG *CAMPUS* SANTA LUZIA

SANTA LUZIA/MG

2026

MARCOS CAMPOS DE ANDRADE

ESTUDO DE CASO SOBRE O SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO IFMG SANTA LUZIA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina TCC II, do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Santa Luzia, como requisito para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Neimar de Freitas Duarte
Coorientador: Leandro Alves Evangelista

Santa Luzia/MG
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A554e Andrade, Marcos Campos de.

Estudo de caso sobre o sistema de energia fotovoltaica no IFMG *Campus* Santa Luzia. / Marcos Campos de Andrade. - 2026.
73f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Santa Luzia, 2026.
Orientador: Prof. Neimar de Freitas Duarte.

1. energia solar. 2. Desenvolvimento sustentável. I. Duarte, Neimar de Freitas. (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Santa Luzia, MG. III. Título.

CDU: 621.311.243

Elaborada pela Biblioteca do IFMG campus Santa Luzia

INSTITUTO FEDERAL MINAS GERAIS
Campus Santa Luzia - Código INEP: 31358150
Rua Érico Veríssimo, nº. 317, Bairro Londrina, CEP: 33115-390, Santa Luzia/MG
CNPJ: 10.626.896/0015-78 - Telefone: (31) 3268-5600

ATA DE DEFESA DE RELATÓRIO DE PROJETO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Relatório de Projeto intitulada **ESTUDO DE CASO SOBRE O SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO IFMG CAMPUS SANTA LUZIA** apresentada pelo aluno **Marcos Campos de Andrade (0031695)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Campus Santa Luzia)**. Os trabalhos foram iniciados às _17:30_ pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Neimar de Freitas Duarte** (Orientador)
- **Wilio Aparecido Rodrigues Torres** (Examinador Interno)
- **Bruno Cesar Ribeiro da Silva** (Examinador Interno)
- **Leandro Alves Evangelista** (Coorientador)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Relatório de Projeto, passou à argüição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

[x] Aprovado [ ] Reprovado Nota (quando exigido): _80,3_

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Neimar de Freitas Duarte** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

SANTA LUZIA / MG, 06/03/2025

gov.br Documento assinado digitalmente
WILIO APARECIDO RODRIGUES TORRES
Data: 13/03/2025 00:57:20-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Wilio Aparecido Rodrigues Torres

gov.br Documento assinado digitalmente
BRUNO CESAR RIBEIRO DA SILVA
Data: 10/03/2025 11:37:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Bruno Cesar Ribeiro da Silva

Leandro Alves Evangelista

gov.br Documento assinado digitalmente
LEANDRO ALVES EVANGELISTA
Data: 07/03/2025 15:41:45-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Neimar de Freitas Duarte

gov.br Documento assinado digitalmente
NEIMAR DE FREITAS DUARTE
Data: 07/03/2025 10:04:09-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus.

Agradeço ao IFMG C*ampus* Santa Luzia e todo o corpo docente que me ajudou durante essa caminhada.

Agradeço ao Orientador Dr. Neimar de Freitas Duarte e ao Coorientador Me. Leandro Alves Evangelista por todo auxílio, paciência, dica, ensinamento e atenção dedicados a mim.

Agradeço a Banca Examinadora por ter avaliado com clareza e objetividade meu trabalho.

Agradeço a minha mãe e ao meu pai por todo auxílio, ensinamentos e principalmente amor dedicados.

Agradeço aos meus irmãos que estão sempre me ajudando no dia a dia.

Agradeço a minha namorada por todo carinho, amor e atenção em todos os momentos.

Agradeço aos meus amigos, principalmente aqueles que me ajudaram durante toda caminhada de IFMG.

“Demore o tempo que for para decidir o que você quer da vida, e depois que decidir não recue ante nenhum pretexto, porque o mundo tentará te dissuadir.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Hoje existe uma grande necessidade pela busca da sustentabilidade, que requer a inserção de novas fontes de energia que promovam o mínimo impacto ambiental. O objetivo geral deste estudo foi realizar uma análise crítica da eficiência energética e da viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos implantados no IFMG *Campus* Santa Luzia, identificando se os investimentos realizados geram retornos atrativos e contribuem para o desenvolvimento sustentável do cenário energético. A metodologia adotada caracteriza-se por um estudo de caso exploratório, que integra elementos qualitativos e quantitativos. Inicialmente, foi realizada uma coleta de dados por meio de análise documental e o levantamento dos dados técnicos e de produção dos sistemas fotovoltaicos. Complementou-se essa abordagem com a análise dos índices financeiros – como Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e o prazo de *payback* – para mensurar a viabilidade econômica do investimento. Primeiramente, pode destacar a análise do desempenho e da eficiência energética, na qual os dados de produção, mesmo com as variabilidades inerentes às condições climáticas, corroboraram a eficiência do sistema. Em paralelo, os estudos financeiros demonstraram que os investimentos realizados, tanto à vista quanto por meio de parcelamentos, resultam em retornos positivos, evidenciando a atratividade econômica do empreendimento. A análise também reforça a ideia de que o conhecimento prático e a integração de dados técnicos e econômicos são essenciais para a tomada de decisão fundamentada, abrindo caminho para a possibilidade de expansão dos sistemas fotovoltaicos e para a diversificação da matriz energética. Adicionalmente, verificou o crescimento do consumo e estudou a relevância da ampliação do sistema fotovoltaico no campus. Demonstrando que é viável economicamente e ambientalmente a ampliação no sistema fotovoltaico no campus de Santa Luzia - IFMG. Essa é uma estratégia promissora para a promoção de práticas sustentáveis e de educação ambiental, contribuindo significativamente para o futuro da matriz energética e para o desenvolvimento sustentável do campus.

Palavras-chave: Usinas Fotovoltaicas. Produção de Energia. Energia Limpa.

ABSTRACT

There is currently a significant demand for sustainability, which requires the integration of new energy sources capable of promoting minimal environmental impact. The general objective of this study was to conduct a critical analysis of the energy efficiency and economic feasibility of the photovoltaic systems implemented at Federal Institute of Minas Gerais (IFMG), Santa Luzia Campus, in order to determine whether the investments made generate attractive returns and contribute to the sustainable development of the energy sector. The methodology adopted is characterized as an exploratory case study integrating both qualitative and quantitative approaches. Initially, data were collected through document analysis and the survey of technical and production data related to the photovoltaic systems. This approach was complemented by an analysis of financial indicators—such as the Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV), and payback period—to assess the economic feasibility of the investment. First, the analysis of system performance and energy efficiency should be highlighted, as the production data, despite the variability inherent to climatic conditions, confirmed the efficiency of the system. In parallel, the financial studies demonstrated that the investments made, whether through direct payment or installment financing, generated positive returns, thereby evidencing the economic attractiveness of the project. The analysis also reinforces the idea that practical knowledge and the integration of technical and economic data are essential for informed decision-making, paving the way for the potential expansion of photovoltaic systems and the diversification of the energy matrix. Additionally, the study verified the growth in energy consumption and examined the relevance of expanding the photovoltaic system on campus, demonstrating that such expansion at the Santa Luzia Campus of IFMG is both economically and environmentally feasible. Therefore, the expansion of the photovoltaic system represents a promising strategy for promoting sustainable practices and environmental education, contributing significantly to the future of the energy matrix and to the sustainable development of the campus.

Keywords: Photovoltaic Plants. Energy Production. Clean Energy.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Gráfico da composição da matriz energética mundial. 17
Figura 2: Gráfico da composição da matriz energética do Brasil. 19
Figura 3: Cadeia Produtiva da Energia Elétrica no Brasil 20
Figura 4: Mapa das linhas de transmissão no Brasil em 1960. 22
Figura 5: Mapa das linhas de transmissão no Brasil em 2000. 23
Figura 6: Mapa das linhas de transmissão no Brasil em 2018. 24
Figura 7: Consumo energético por setor em anos selecionados 26
Figura 8: Gráfico dos maiores produtores de petróleo em 2022. 27
Figura 9: Gráfico dos maiores consumidores de petróleo em 2021. 27
Figura 10: Atlas solarimétrico do Brasil - Radiação solar global diária, média anual 35
Figura 11: Funcionamento de uma usina solar fotovoltaica. 37
Figura 12: Disfunção de elétrons na junção J-P. 38
Figura 13: Exemplo de um sistema fotovoltaico ligado à rede de transmissão. 41
Figura 14: Vista superior do *Campus* Santa Luzia. O Bloco B está indicado pela seta vermelha 44
Figura 15: Usina fotovoltaica 1 e 2, localizada sobre o Bloco B do Campus Santa Luzia. 45
Figura 16: Usina fotovoltaica 1 e 2, localizada sobre o Bloco B do Campus Santa Luzia. 45
Figura 17: Modelo do módulo utilizado na Usina Fotovoltaica 1. 46
Figura 18: Inversor utilizado na UFV1. 47
Figura 19: Modelo do módulo utilizado na Usina Fotovoltaica 2. 48
Figura 20: Inversores utilizado na UFV2. 49
Figura 21: Gráfico de kWh consumidos da CEMIG e direto da UFV 51
Figura 22: Gráfico de valores pagos efetivamente e economizados pela UFV 51
Figura 23: Gráfico de valores do KWh em HP, FHP e de Energia Injetada 53
Figura 24: Gráfico de consumo anual de energia no Campus 54
Figura 25: Produção de energia Usina Fotovoltaica 1. 55
Figura 26: Estimativa ambiental 62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dados sobre o sistema de distribuição de energia brasileiro por Estados 24
Tabela 2: Relação de vantagens, desvantagens e impacto ambiental das principais fontes de energia.....32
Tabela 3- Comparação do material da placa fotovoltaica. 39
Tabela 4: Comparativo de produção de energia de teórica e real da Usina Fotovoltaica 1. 56
Tabela 5: Investimento Usina Fotovoltaica 1 e 2.....57
Tabela 6: Produção média anual (kWh).....57
Tabela 7: Valor do kWh a partir da fatura Jun/2022 58
Tabela 8: Produção média anual (R$).....58
Tabela 9: Estimativas econômicas com a UFV 58
Tabela 10: Orçamento em diferente empresas e sites. 60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 JUSTIFICATIVA 14
1.2 OBJETIVO 16

2 REFERENCIAL TEÓRICO 17
2.1 A ENERGIA NO MUNDO 17
2.2 A ENERGIA NO BRASIL 19
2.2.1 Matriz energética 19
2.2.2 Geração 20
2.2.3 Transmissão 21
2.2.4 Distribuição 24
2.2.5 Consumo energético nacional 25
2.3 PRINCIPAIS FONTES DE ENERGIAS UTILIZADAS 26
2.3.1 Petróleo 26
2.3.2 Gás natural 28
2.3.3 Carvão mineral 29
2.3.4 Hidráulica 29
2.3.5 Biomassa 30
2.3.6 Nuclear 31
2.3.7 Eólica 32
2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA 34
2.4.1 HISTÓRICO 34
2.4.2 Disponibilidade de recursos 34
2.4.3 Fatores econômicos e tecnológicos 36
2.4.5 Características do sistema fotovoltaico 37

2.4.6 Vantagens e desvantagens do sistema fotovoltaico.....41

3 METODOLOGIA 42
3.1 COLETA DE DADOS.....43

3.1.1 Dados Técnicos do Sistema:.....43

3.1.2 Coleta de produção de energia 49

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 50
4.1 DADOS ECONÔMICOS E DE CONSUMO.....50
4.2 DADOS DE PRODUÇÃO DA UFV 55
4.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....56
4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....57

4.4.1 Aspectos econômicos e financeiros 57

4.4.2 Fluxos de Caixa 58
4.5 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA EXPANSÃO 59

5 CONCLUSÃO 64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....65

1 INTRODUÇÃO

O uso de energia no mundo é essencial para o desenvolvimento da humanidade, a utilização de fontes de energia é primordial para o funcionamento de cidades, para a produção industrial e para o transporte e locomoção de pessoas e produtos. A energia é um elemento fundamental para o funcionamento de todos os setores de um país, desde a comunicação e transporte, passando pelo desenvolvimento social, o aquecimento, a alimentação, a garantia de conforto e qualidade de vida, bem como a movimentação da força militar (combustíveis para as máquinas de guerra e eletricidade para o funcionamento de armamentos, computadores, satélites e outros) (MONIÉ, BINSZTOK, 2012).

Para Vergílio (2012), com o crescimento da população e o desenvolvimento tecnológico torna-se necessário uma demanda de energia cada vez maior. Assim, quando o aumento na demanda ultrapassa os limites do sistema, exige-se a construção de novas unidades de geração de grande porte, bem como de sistemas para a transmissão e distribuição desta nova parcela de energia. A matriz energética corresponde ao conjunto de fontes de energia utilizadas para suprir as demandas energéticas de uma sociedade, enquanto a matriz elétrica refere-se especificamente às fontes utilizadas para geração de energia elétrica. Nesse contexto, a expansão da energia solar fotovoltaica representa uma alternativa relevante para a diversificação da matriz elétrica brasileira e para a ampliação da participação de fontes renováveis na geração de eletricidade. A matriz energética do Brasil é composta majoritariamente por petróleo e derivados (35,7%), derivados da cana-de-açúcar (15,4%), energia hidráulica (12,5%) e gás natural (10,5%) (IEA, 2023).

A ampla utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia, traz grandes impactos ao meio ambiente. A queima do petróleo, por exemplo, causa a emissão de CO_2 e outros gases poluentes, o que agrava o efeito estufa no planeta.

A energia hidráulica, por sua vez, é uma das fontes renováveis mais utilizadas no Brasil, representando uma parte significativa da matriz energética do país. Embora a energia hidráulica seja considerada uma fonte limpa, a construção de grandes represas pode causar impactos ambientais significativos, como a destruição de ecossistemas e deslocamento de comunidades (CAUS; MICHELS, 2014). Em

comparação, a energia solar fotovoltaica requer menos espaço e não causa os mesmos tipos de impactos ambientais diretos.

A busca da sustentabilidade requer planejamento e inserção de novas fontes de energia, que sejam renováveis e impactem o mínimo possível no meio ambiente. A energia solar fotovoltaica se apresenta como uma fonte energética de grande potencial no Brasil, visto que sua posição geográfica, extensão territorial e incidência de radiação solar contribuem muito para a exploração desta fonte energética. A energia solar possui um potencial muito maior do que outras fontes de energia como: geotérmica, hidráulica, biomassa e eólica, dessa forma, esta energia se pluraliza ao redor do mundo ao decorrer do tempo. Graças ao desenvolvimento contínuo e expressivo da energia fotovoltaica, os custos de seus sistemas tornam-se cada vez mais acessíveis ao longo dos anos. O sistema fotovoltaico também é considerado de fácil instalação e pouca manutenção, fatos que fazem com que sua aceitação seja ampla.

A energia solar fotovoltaica (PV) é uma das fontes de energia renovável mais promissoras, especialmente em países com alta incidência solar, como o Brasil. Entre suas principais vantagens, destaca-se a capacidade de gerar eletricidade sem emissões diretas de gases de efeito estufa, o que a torna uma opção ambientalmente amigável (SILVEIRA; SANTOS; MONTORO, 2019). Além disso, a energia solar é abundante e disponível em quase todas as regiões do mundo, o que a torna uma alternativa viável para a diversificação da matriz elétrica brasileira (MOSQUEIRA, 2020).

No entanto, a energia solar fotovoltaica também apresenta desvantagens. O custo inicial de instalação é elevado, e a eficiência dos sistemas pode ser afetada por fatores como a radiação solar, temperatura e condições climáticas (BRAGA, 2008). A eficiência média dos painéis solares atualmente varia entre 15% e 22%, dependendo da tecnologia utilizada (OLIVEIRA, 2023). Em comparação, a energia eólica, que também é uma fonte renovável, apresenta uma eficiência que pode ultrapassar 40% em locais com ventos constantes e fortes (IEA, 2023). Isso significa que, em condições ideais, a energia eólica pode ser mais eficiente em termos de conversão de energia em eletricidade.

Além disso, a energia eólica tem um custo de instalação que, embora também elevado, tem diminuído significativamente nos últimos anos, tornando-se

competitiva em relação à energia solar. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), o custo nivelado da eletricidade (LCOE) da energia eólica *onshore* é frequentemente inferior ao da energia solar em várias regiões do mundo. Isso sugere que, em algumas circunstâncias, a energia eólica pode ser uma opção mais econômica do que a solar.

Outra fonte renovável a ser considerada é a biomassa, que utiliza materiais orgânicos para gerar energia. A biomassa pode ser convertida em eletricidade, calor ou biocombustíveis, oferecendo uma flexibilidade que a energia solar e eólica não possui. No entanto, a biomassa também apresenta desvantagens, como a necessidade de grandes áreas de cultivo e o potencial de competição com a produção de alimentos (KHATIWADA *et al.,* 2012). Além disso, a queima de biomassa pode liberar poluentes, embora em menor escala do que os combustíveis fósseis.

Em resumo, a energia solar fotovoltaica apresenta vantagens significativas, mas também enfrenta desafios que devem ser considerados em uma análise crítica. Comparada a outras fontes renováveis, como a energia eólica, biomassa e hidráulica, a energia solar se destaca pela sua abundância e potencial de redução de emissões, mas pode ser superada em eficiência e custo em determinadas condições. Para uma adoção mais ampla da energia solar, é fundamental que se realizem investimentos em pesquisa e desenvolvimento, visando a redução de custos e o aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

1.1 Justificativa

Ao longo da história, o uso da energia tem sido cada vez mais presente e essencial na vida de todos. Com o desenvolvimento de novas tecnologias e o surgimento de novas necessidades, aliado ao crescimento quase constante da população mundial, um dos grandes desafios hoje encontrados é a incerteza com relação à disponibilidade futura de energia frente à demanda, principalmente devido ao abrangente uso de fontes não-renováveis e a exploração de alta escala dos recursos fornecidos pelo planeta (MAUAD, 2017).

Diante dessa realidade, novas fontes têm sido buscadas como forma não só de diversificar a matriz energética dos países ao redor do globo, mas também desenvolver alternativas que busquem uma redução dos impactos, principalmente de ordem ambiental, causados pela geração, distribuição e consumo de energia, sejam

eles em grande ou pequena escala. É nessa perspectiva que surge a discussão da viabilidade de implantação de energias consideradas renováveis, com destaque para aquelas que permitam um distúrbio cada vez menor ao meio ambiente e à sociedade como um todo.

A energia solar, produzida por meio de painéis fotovoltaicos, é considerada uma fonte de energia renovável, de fácil instalação e de pouca manutenção. Incentivos fiscais e a elaboração de normativas que facilitem a implementação de usinas solares fotovoltaicas devem ser adotadas pelos órgãos públicos.

Esse trabalho se justificativa devido a energia solar fotovoltaica ser uma fonte de energia renovável que contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Ao substituir fontes fósseis, como carvão e petróleo, a energia solar ajuda a mitigar os impactos das mudanças climáticas, promovendo um ambiente mais saudável e sustentável. Além disso, a utilização de sistemas fotovoltaicos diminui a dependência de recursos não renováveis, preservando os ecossistemas e a biodiversidade. A implementação de tecnologias solares em larga escala pode, portanto, desempenhar um papel crucial na transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável.

Além da questão ambiental, a adoção da energia solar fotovoltaica também traz benefícios sociais significativos. A energia solar pode ser uma solução para comunidades que não têm acesso à eletricidade, especialmente em áreas rurais e remotas. A instalação de sistemas fotovoltaicos pode proporcionar eletricidade para iluminação, aquecimento e outras necessidades básicas, melhorando a qualidade de vida e promovendo o desenvolvimento social. Além disso, a energia solar pode gerar empregos em diversas áreas, desde a fabricação de painéis solares até a instalação e manutenção dos sistemas, contribuindo para o fortalecimento da economia local e a inclusão social.

Economicamente, a energia solar fotovoltaica representa uma oportunidade de redução de custos a longo prazo. Embora o investimento inicial na instalação de sistemas solares possa ser elevado, os custos operacionais são significativamente menores em comparação com fontes de energia convencionais. A energia solar pode reduzir as contas de eletricidade e, em muitos casos, permitir que os consumidores vendam o excedente de energia gerada de volta à rede elétrica, gerando uma nova fonte de receita. Além disso, a crescente competitividade do

mercado de energia solar está impulsionando inovações tecnológicas e a redução de preços, tornando essa fonte de energia cada vez mais acessível.

Por fim, a energia solar fotovoltaica desempenha um papel fundamental na educação e conscientização sobre sustentabilidade e energias renováveis. Este trabalho não apenas busca analisar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, mas também visa educar a comunidade acadêmica e a sociedade em geral sobre a importância da transição energética. A inclusão de temas relacionados à energia solar nos currículos escolares e universitários pode inspirar novas gerações a se envolverem em práticas sustentáveis e a buscarem soluções inovadoras para os desafios energéticos do futuro.

A avaliação da geração da energia solar no *Campus* do IFMG, irá contribuir para uma análise mais consolidada da situação de geração, consumo, economia e possibilidade e ampliação dos painéis. Esses são de fácil instalação e de pouca manutenção. Incentivos fiscais e a elaboração de normativas que facilitem a implementação de usinas solares fotovoltaicas devem ser adotadas pelos órgãos públicos. O motivo deste trabalho justifica com possibilidade de economicidade para o IFMG *Campus* Santa Luzia.

1.2 Objetivo

Objetivo Geral:

- Avaliar a eficiência dos sistemas de energia fotovoltaica existentes no Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Santa Luzia.

Objetivos Específicos:

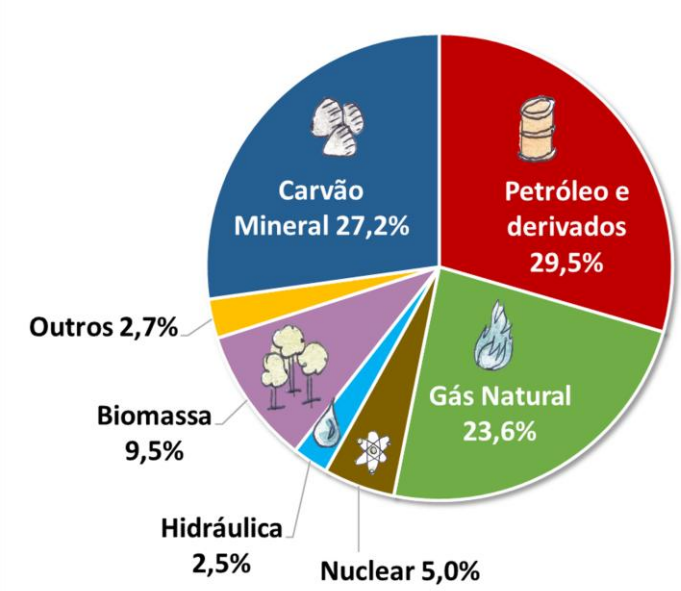
1. Examinar a capacidade de produção em relação ao consumo dos sistemas fotovoltaicos existentes.
2. Investigar a necessidade de ampliação do sistema, a fim de garantir o quantitativo mínimo necessário para a autossuficiência energética do *Campus*.
3. Analisar os custos e a viabilidade econômica da ampliação dos sistemas fotovoltaicos, visando assegurar a autossuficiência energética do *Campus* Santa Luzia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A energia no mundo

A matriz energética mundial é composta em sua maioria por fontes de energias não renováveis, ou seja, por fontes de energias finitas. Dentre elas podem-se citar, o carvão mineral, o petróleo e o gás natural. Segundo o (IEA, 2023), a matriz energética mundial em 2021 se apresentava, com 29,5% de petróleo e derivados, com 27,5% de carvão mineral e com 23,6% de gás natural, na qual representa, 80,3% do total de fontes de energia. A figura 1 a seguir, demonstra graficamente esta composição.

Figura 1:Gráfico da composição da matriz energética mundial (Gigawatts).



Fonte: (IEA, 2023).

Essa dependência de combustíveis fósseis tem gerado preocupações significativas em relação às mudanças climáticas e à sustentabilidade ambiental. A queima de combustíveis fósseis é uma das principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa, que contribuem para o aquecimento global. De acordo com o relatório de Gases de Efeito Estufa da Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), as emissões globais de CO_2 atingiram um recorde histórico, destacando a urgência de uma transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. A energia solar,

eólica e outras fontes renováveis emergem como alternativas viáveis para mitigar esses impactos.

A energia solar, em particular, tem ganhado destaque devido ao seu potencial de geração em larga escala e à sua capacidade de reduzir a dependência de fontes fósseis. Estudos indicam que a energia solar poderia fornecer até 30% da eletricidade global até 2030, se forem feitos investimentos adequados em tecnologia e infraestrutura (BONDARIK; PILATTI; HORST, 2018). Além disso, a energia solar é uma das fontes de energia que mais cresce no mundo, com um aumento significativo na capacidade instalada nos últimos anos. Segundo a IEA (2023), a capacidade global de energia solar fotovoltaica ultrapassou 1.000 GW em 2021, refletindo um crescimento de 22% em relação ao ano anterior.

Além da energia solar, outras fontes renováveis, como a energia eólica e a biomassa, também desempenham papéis cruciais na transição energética. A energia eólica, por exemplo, tem se mostrado uma alternativa competitiva, com custos de geração que caíram drasticamente nos últimos anos. De acordo com o Global Wind Energy Council (GWEC, 2022), a capacidade eólica instalada globalmente atingiu 743 GW em 2021, com um crescimento anual de 93 GW.

A diversificação da matriz energética é fundamental para garantir a segurança energética e a sustentabilidade ambiental. A transição para fontes renováveis não apenas reduz as emissões de gases de efeito estufa, mas também promove a criação de empregos e o desenvolvimento econômico. Segundo o relatório da Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2021), a transição para uma economia verde pode gerar até 24 milhões de novos empregos em todo o mundo até 2030.

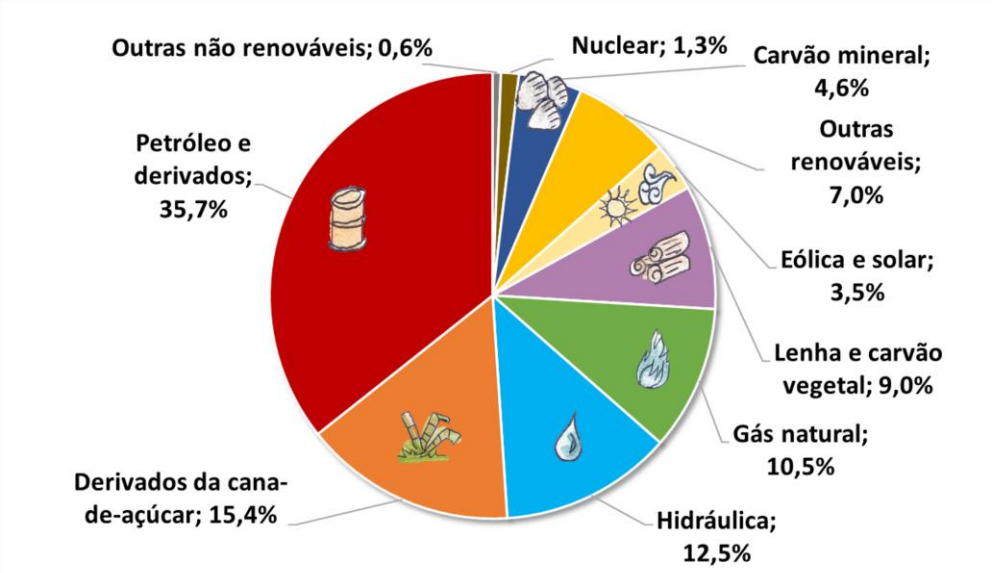
Em suma, a energia no mundo está passando por uma transformação significativa, impulsionada pela necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos das mudanças climáticas. A adoção de fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica, é essencial para alcançar um futuro energético sustentável e resiliente.

2.2 A energia no Brasil

2.2.1 Matriz energética

Embora a matriz energética mundial se apresenta desta forma, quando comparada ao Brasil, pode-se observar que grandes diferenças existem. Nossa matriz energética é predominantemente composta por petróleo, derivados da cana-de-açúcar, hidráulica e gás natural. Segundo (IEA, 2023), a matriz energética do Brasil se apresenta, com 35,7% de petróleo e seus derivados, com 15,4% de derivados de cana-de-açúcar, com 12,5% de hidráulica e com 10,5% de gás natural. Quando se compara a matriz brasileira com a matriz mundial, observa-se que o Brasil utiliza um percentual de energias não renováveis menor, o petróleo, o carvão e o gás natural representam o percentual de 50,8% do total. A figura 2 representa graficamente a matriz energética brasileira.

Figura 2: Gráfico da composição da matriz energética do Brasil (Gigawatts).



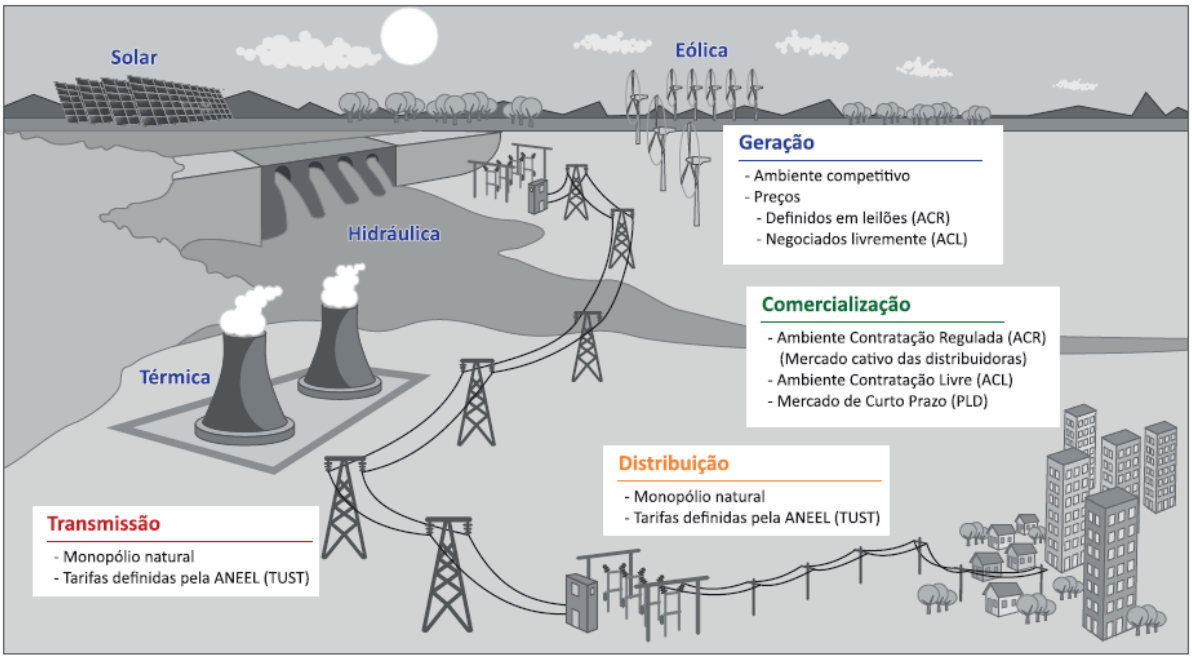
Fonte: (IEA, 2023).

A matriz de energia primária do Brasil é composta em mais de 47% de fontes renováveis e mais de 85% de sua eletricidade é gerada por fontes de energia hidrelétrica. Apesar desta grande fração de recursos de energia renovável, menos de 0,3% do suprimento de energia nacional vem de fontes solares ou eólicas. É preciso

atender aos requisitos de suporte a políticas e tecnologia da informação para impulsionar a implantação de tecnologia solar e energia eólica (Da Silva *et al*., 2013; Martins e Pereira, 2011).

O sistema energético brasileiro é formado basicamente pelas usinas de energia elétrica que provêm a geração de energia, elas podem ser denominadas como eólicas, hidráulicas, térmicas, fotovoltaicas, nucleares, etc. As linhas de transmissão são responsáveis por levar a energia elétrica da fonte geradora até aos grandes pólos consumidores. As concessionárias e permissionárias são responsáveis por realizar a distribuição de energia até os consumidores finais, como, por exemplo, casas, comércios e indústrias. Na figura 3 a seguir, pode-se observar o sistema energético brasileira de forma esquemática, a fim de ilustrar a cadeia produtiva de energia elétrica no Brasil.

Figura 3: Cadeia Produtiva da Energia Elétrica no Brasil



Fonte: BNB/ETENE/Célula de Gestão de Informações Econômicas.

2.2.2 Geração

A distribuição das fontes de energia brasileiras reflete, de forma bastante aparente, as características de disponibilidade de recursos do país. A contribuição da

queima do carvão, por exemplo, é modesta com relação à fração ocupada pela energia hidrelétrica, já que as poucas reservas disponíveis são, em geral, de baixa qualidade.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) registrou nos primeiros dias de março que o Brasil ultrapassou a marca de 190 gigawatts (GW) de capacidade instalada centralizada na matriz elétrica para uso de toda a população conectada ao Sistema Interligado Nacional. Em março de 2023, 23,4 mil unidades geradoras ofereciam juntas uma potência fiscalizada de 190,79 GW, sendo 103,2 GW (53,58% do total) de usinas hidrelétricas de grande porte, 46,15 GW (24,70%) de termelétricas e 24,92 GW (13,12%) de usinas eólicas. Ainda de acordo com a ANEEL, 83,44% da geração de energia do país é considerada renovável.

2.2.3 Transmissão

De acordo com a Eletrobrás, as primeiras redes de transmissão brasileiras representadas no mapa (figura 4) no ano de 1960. O desenvolvimento da indústria de energia elétrica era marcado pela existência de sistemas isolados, de acordo com a concentração de usinas, mas que se tornava cada vez mais afastadas dos grandes centros urbanos. O aproveitamento do potencial hidrelétrico exigiu a construção de extensas linhas de transmissão, com níveis de tensão cada vez mais elevado, para suprir o transporte de energia aos centros urbanos.

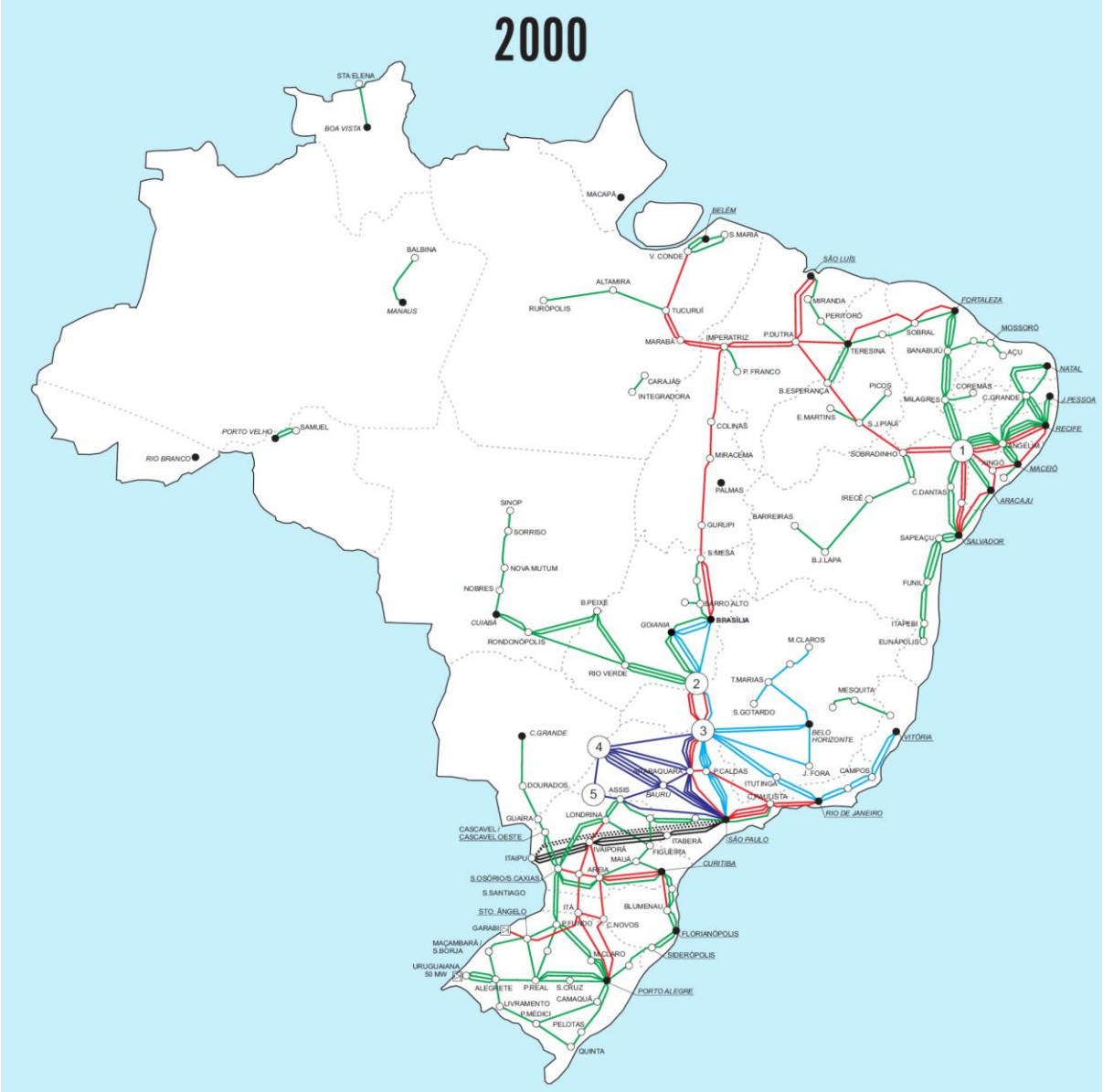
Figura 4: Mapa das linhas de transmissão no Brasil em 1960.



Fonte: Eletrobrás (2018).

Com o passar dos anos e a crescente demanda de energia no país, foi primordial a ampliação das redes de transmissão de energia, na figura 5, pode-se observar as redes de transmissão que atendiam o Brasil no ano de 2000. Segundo a Eletrobrás, a obra de transmissão mais importante neste período foi a interligação dos sistemas elétricos das Regiões Norte/Nordeste e Sul/Sudeste, que ficou conhecida como interligação Norte/Sul, possibilitando o intercâmbio de energia entre elas.

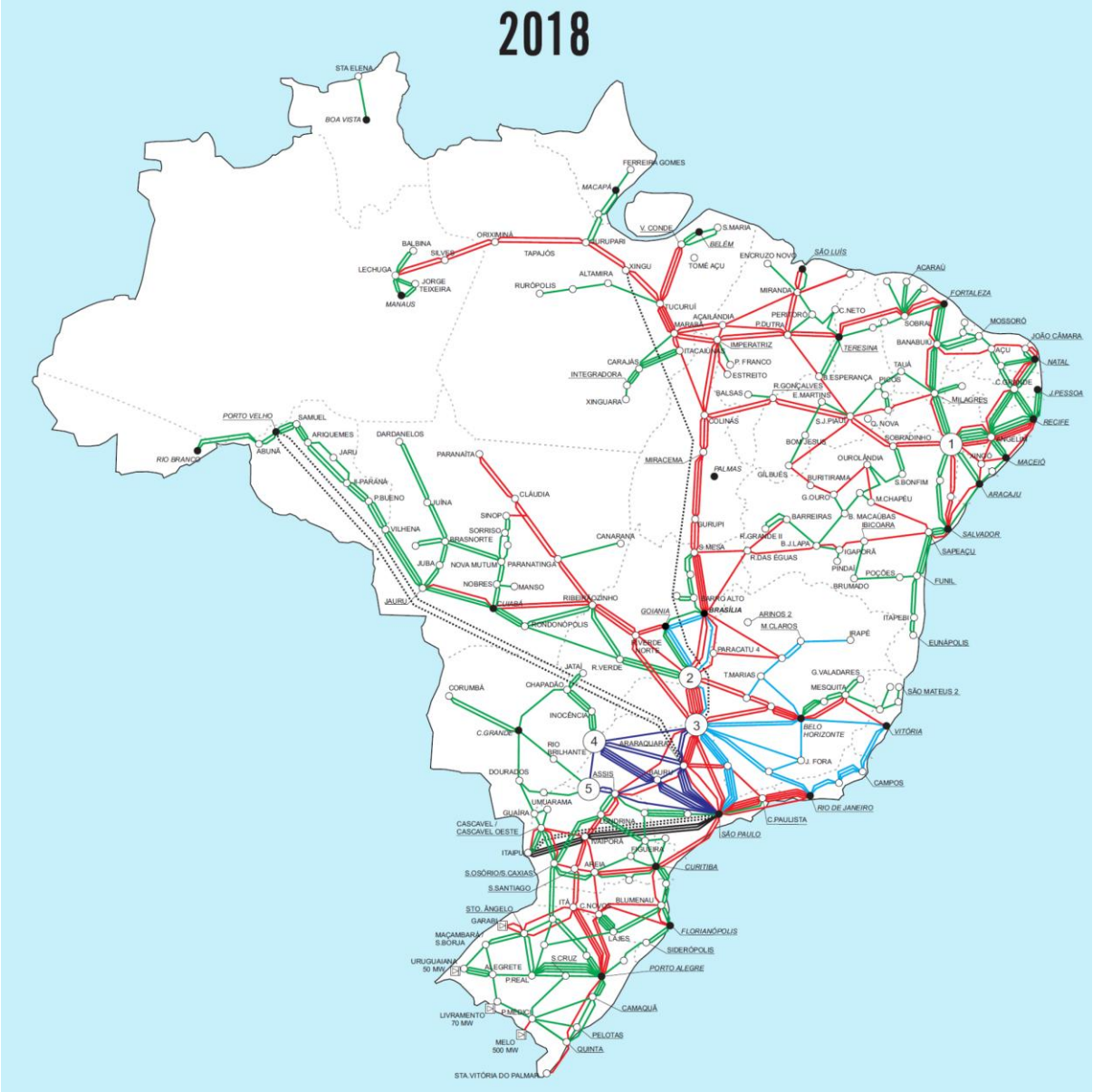
Figura 5: Mapa das linhas de transmissão no Brasil em 2000.



Fonte: Eletrobrás (2018).

Na figura 6, a seguir mostra o mapa das linhas de transmissão mais atualizadas referente ao ano de 2018. De 2011 a 2018, duas importantes linhas de transmissão entraram em operação: a linha de Tucuruí-Macapá-Manaus, em 2013, e a primeira linha de corrente contínua do Brasil, em 2017, interligando a Usina de Belo Monte, no Pará, aos grandes centros de consumo no Sudeste.

Figura 6: Mapa das linhas de transmissão no Brasil em 2018.



Fonte: Eletrobrás (2018).

2.2.4 Distribuição

A distribuição de energia elétrica no Brasil é realizada por meio de concessionárias e ou permissionárias. Segundo a Aneel (2024), com dados de 2023, existem no Brasil 105 distribuidoras de energia elétrica. A tabela a seguir, mostra o quantitativo de distribuidoras (concessionárias e permissionárias) existente nos Estados brasileiros e a população atendida, conforme tabela 1.

Tabela 1: Dados sobre o sistema de distribuição de energia brasileiro por Estados

Estado	Número de UCs	População Atendida	Qtde de Distribuidoras
SP	20.867.484	46.091.026	19
MG	10.405.834	20.866.188	3
RJ	7.398.614	17.152.164	6
BA	6.359.992	14.761.448	1
RS	5.166.747	11.329.605	20
PR	5.287.526	11.137.243	5
PE	4.037.670	9.514.822	1
CE	3.669.240	9.075.649	1
PA	2.364.639	8.513.497	1
SC	3.344.289	7.065.983	26
MA	2.365.546	7.035.055	1
GO	3.167.894	6.921.161	2
AM	1.065.509	4.074.837	1
PB	1.708.741	3.977.967	2
ES	1.755.057	3.972.388	2
RN	1.584.315	3.479.010	1
MT	1.557.764	3.441.781	1
AL	1.119.021	3.322.820	1
PI	1.304.073	3.264.531	1
DF	1.113.922	2.974.703	1
MS	1.146.357	2.593.358	1
SE	974.693	2.329.474	3
RO	831.107	1.759.640	1
TO	643.502	1.555.229	1
AC	313.752	873.206	1
AP	222.982	829.494	1
RR	175.609	576.568	1
Total	**89.951.879**	**208.488.847**	**105**

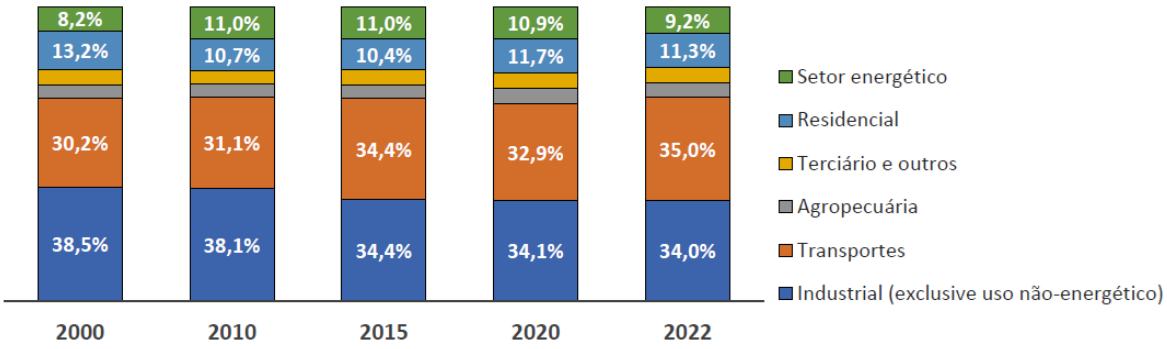
Fonte: ANEEL (2024).

2.2.5 Consumo energético nacional

De acordo com o Atlas da Eficiência Energética do Brasil (2023), o principal movimento observado neste período foi o recuo da participação da indústria em contraposição ao avanço do setor de transportes, que ultrapassou o consumo industrial nos anos de 2018, 2019 e 2022. O setor de transportes cresceu a uma taxa média de 2,9% a.a. (2000-2022), e de forma mais acentuada entre 2000 e 2015, com crescente participação do setor rodoviário. Em 2020 o setor foi impactado pela

pandemia da Covid-19 e aos consequentes reflexos na economia e nas restrições de locomoção, principalmente no modo aeroviário, mas se recuperou e em 2022 apresentou o maior consumo de energia dentre os demais.

Figura 7: Consumo energético por setor em anos selecionados



Fonte: (EPE, 2023).

2.3 Principais fontes de energias utilizadas

Após analisar as matrizes energéticas do mundo e do Brasil, foi possível identificar as principais fontes energéticas e as mais utilizadas, dentre elas, o petróleo, o gás natural, o carvão mineral, a hidráulica, a biomassa, a nuclear e eólica serão brevemente citadas neste item.

2.3.1 Petróleo

Para Mariano (2001), o petróleo é uma mistura extremamente complexa de diversos compostos. O petróleo é um combustível fóssil que apresenta muitas utilidades e aplicações, além do uso na indústria automobilística. Ele se caracteriza por ser matéria-prima e/ou constituinte de diversos produtos como plásticos, calçados e cosméticos (MARTINS *et al.*, 2015).

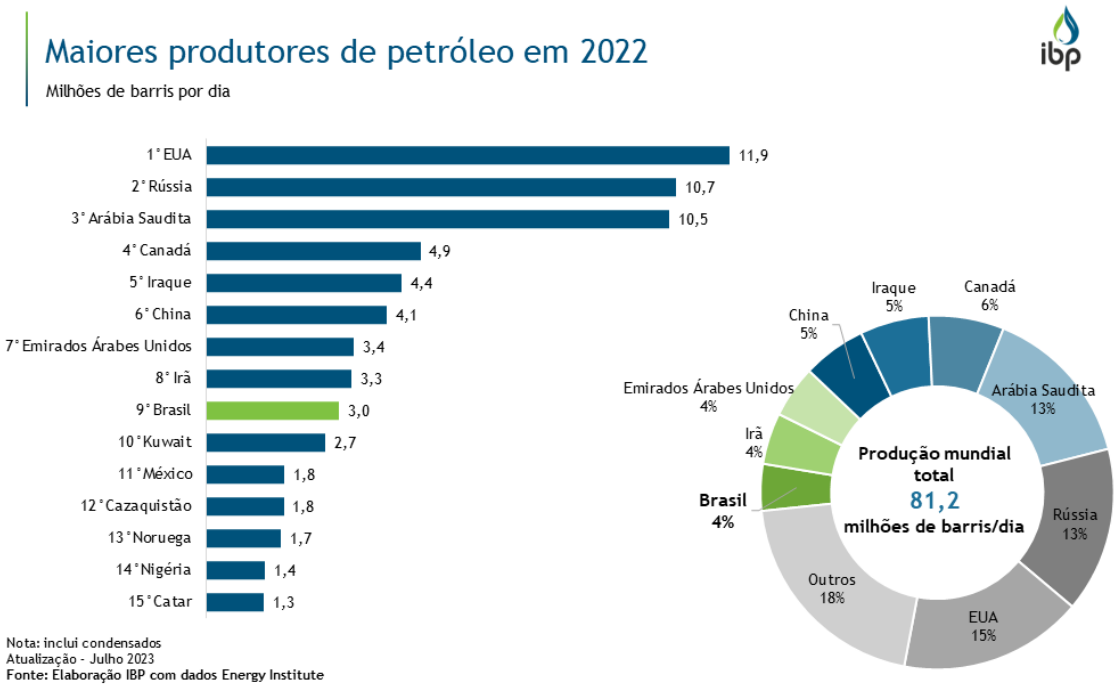
A construção da indústria do petróleo foi acompanhada de processos políticos intrincados, com diferentes facetas em cada país, muitas vezes ultrapassando os interesses econômicos e energéticos (MONIÉ, BINSZTOK, 2012).

As políticas estabelecidas por países consumidores ou importadores de petróleo levaram a relação complexa de interdependência com países produtores e exportadores de petróleo. O fato de o sistema energético internacional ter

desenvolvido tamanha dependência do petróleo transformou esta fonte de energia em um recurso natural geopolitizado. (Bret - Rouzaut *et al*., 2011 *apud* MONIÉ, BINSZTOK, 2012).

Segundo o IPB (Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás) (2023), com dados da *Energy Institute* de 2022, destaca como os principais países produtores de petróleo os EUA, Rússia e Arábia Saudita. O Brasil ocupa a 9ª posição no ranking de maiores produtores. A figura 8, a seguir mostra os principais produtores de petróleo no mundo.

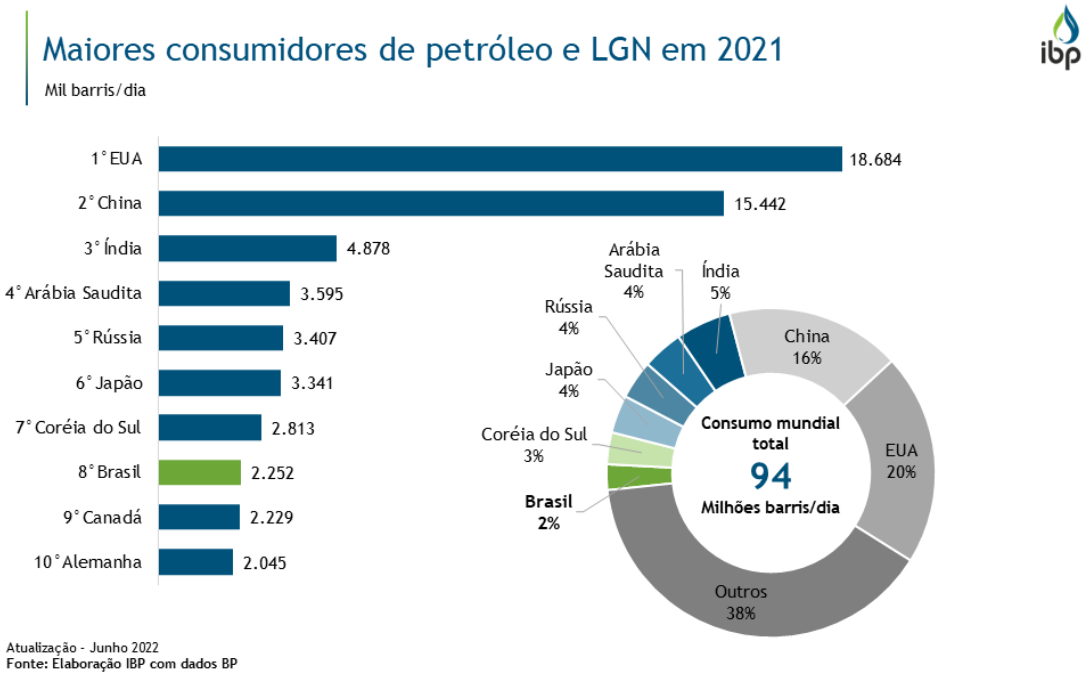
Figura 8: Gráfico dos maiores produtores de petróleo em 2022.



Fonte: IBP, 2023.

É válido destacar também os principais países consumidores de petróleo no mundo, sua análise e comparação com os principais produtores, permite melhor compreensão de oferta *versus* demanda de mercado. A figura 9, destaca com os principais consumidores de petróleo no mundo os EUA, China e Índia. Já o Brasil ocupa a 8ª posição no ranking.

Figura 9: Gráfico dos maiores consumidores de petróleo em 2021.



Fonte: IBP, 2022.

2.3.2 Gás natural

O gás natural ocorre na natureza comumente associado ao petróleo e corresponde a uma mistura de hidrocarbonetos leves e outros compostos químicos orgânicos e inorgânicos (SELLEY, 1998).

O gás natural é um composto dominantemente formado por hidrocarbonetos leves da série parafínica (alcanos), que ocorrem muitas vezes associados a CO_2, N, O_2, CO, H_2, H_2S e gases nobres (SELLEY 1998, CHILINGAR *et al*. 2005 *apud* REIS, 2018).

O gás natural passou a ser uma importante fonte energética após a I Revolução Industrial e após a criação dos primeiros motores movidos a combustão. Nos dias de hoje, petróleo e gás natural desempenham um importante papel na estrutura econômica, geopolítica e sociocultural mundial, sendo amplamente utilizados na fabricação de combustíveis e inúmeros produtos e bens de consumo (HALL *et al*. 2003).

O gás natural é utilizado, sobretudo, na geração de energia através da queima em usinas termelétricas. Em geral, seu uso para esta finalidade é favorecido pela boa eficiência energética e menor taxa de emissão de CO_2, o que torna sua utilização menos nociva para o meio ambiente em comparação com outros combustíveis fósseis. Adicionalmente, constitui matéria-prima na indústria

petroquímica, na fabricação de fertilizantes, no transporte e consumo doméstico (REIS, 2018).

Sua produção no Brasil nos anos 2000 era de 13.282.877 metros cúbicos ao ano, já em 2023 a produção atingiu 54.677.136 metros cúbicos ao ano. O consumo também cresceu consideravelmente ao longo dos anos (ANP, 2024).

2.3.3 Carvão mineral

O carvão mineral é uma rocha sedimentar combustível, formada a partir de determinados vegetais que sofreram soterramento em bacias originalmente pouco profundas. Fatores como a pressão, a temperatura e o seu tempo de atuação, determinaram a carbonização gradativa da matéria vegetal original, que sofreu modificações significativas com a perda de O_2 e H_2O e enriquecimento em carbono (DNPM, 1987).

A produção de energia com a utilização de carvão mineral no Brasil é amplamente utilizada, por meio das Usinas termelétricas, considerando sua reserva de combustível e a flexibilidade em operar com geração constante ou variável, de forma complementar no abastecimento de energia elétrica no país (GAVIROSK, 2007).

2.3.4 Hidráulica

A energia hidrelétrica é uma das formas de geração de eletricidade mais antigas e amplamente utilizadas no mundo. Esse processo ocorre quando a energia potencial da água é convertida em energia mecânica por meio das turbinas hidráulicas e, posteriormente, transformada em energia elétrica por intermédio dos geradores (CAUS; MICHELS, 2014).

De acordo com a Eletrobras, uma usina hidrelétrica consiste em um conjunto de obras e equipamentos destinados à geração de energia elétrica a partir do aproveitamento do potencial hidráulico de um rio. Esse potencial é determinado pela vazão da água e pelos desníveis existentes ao longo do curso do rio.

Para Caus e Michels (2014), uma usina hidrelétrica é composta pelas seguintes estruturas: barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e sistema de restituição da água ao leito natural do rio.

A principal fonte de geração de energia elétrica no Brasil é a hidrelétrica, com participação de 68,2% na matriz elétrica nacional (PES et al., 2017 apud BONDARIK et al., 2018). O sistema hidrelétrico brasileiro atende grande parte da demanda nacional por eletricidade, sendo a maioria das usinas concentradas na região Sudeste, onde se localizam os maiores centros consumidores e a maior concentração populacional. A expansão desse sistema, considerando o potencial hidrelétrico disponível, tende a ocorrer principalmente na região Amazônica (MENDES et al., 2017 apud BONDARIK et al., 2018).

2.3.5 Biomassa

A biomassa, que pode ser caracterizada como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia térmica, mecânica ou elétrica, é utilizada desde os primórdios da civilização humana. Nos últimos anos, a biomassa passou a ser considerada uma alternativa para a diversificação da matriz energética mundial e consequente redução da dependência de combustíveis fósseis (SANTOS *et al.,* 2017). De acordo com Santos *et al*. (2017), as principais fontes de biomassa no Brasil são:

- A Biomassa florestal é definida por produtos e subprodutos derivados dos recursos florestais, como, por exemplo, lenha e carvão vegetal. Seu aproveitamento no uso final energético se realiza, principalmente, através das rotas tecnológicas de transformação termoquímica mais simples, como combustão direta e carbonização.
- Já a biomassa de origem agrícola, é definida por produtos e subprodutos derivados da agricultura do país, como, por exemplo, cana-de-açúcar, arroz, capim elefante, milho e soja.
- A biomassa de rejeitos urbanos sólidos e líquidos, que é definida por produtos e subprodutos derivados pelo descarte de resíduos das cidades, oriundos dos setores comerciais e residenciais.
- E por fim, a biomassa de rejeitos industriais sólidos e líquidos, são rejeitos de criadouros, abatedouros, destilarias, fábricas de laticínios, indústria de processamento de carnes, entre outros, onde os mesmos podem ser utilizados na geração de biogás.

O Brasil, por possuir uma grande área territorial, pode aproveitar bem a biomassa para produção de energia elétrica. A biomassa de origem florestal se

destaca por ser uma fonte sustentável, podendo ser produzida em diversos estados do país, reduzindo assim os gastos com as linhas de transmissão. Já a de origem agrícola (milho, arroz, capim-elefante, soja) é de grande importância, pois quase todo o resíduo que sobra, não é aproveitado, contando que o país é um grande produtor desses grãos, pode se tirar vantagem disso para a produção de energia elétrica. A biomassa dos rejeitos urbanos é bastante proveitosa, por ser produzida todos os dias, e não necessitar de investimentos para a produção dessa fonte, além da produção de energia elétrica, pode ser utilizada na produção do biogás (SANTOS *et al*., 2017).

A energia de biomassa no Brasil, representa 15,40% de derivados de cana-de-açúcar e 9,00% de lenha e carvão vegetal, totalizando 24,40% da matriz energética do país (Figura 3) (IEA, 2023).

2.3.6 Nuclear

Usinas nucleares são usinas térmicas que usam o calor produzido na fissão para movimentar vapor de água, que, por sua vez, movimenta as turbinas em que se produz a eletricidade (GONÇALVES, ALMEIDA, 2005).

De acordo com a Eletronuclear (2024), o início da utilização de energia elétrica, produzida por meio de usinas nucleares no Brasil se deu em 1985, na primeira Usina Nuclear Brasileira Angra I, operando com um reator de água pressurizada (PWR), o mais utilizado no mundo. Com 640 megawatts de potência, Angra 1 gera energia suficiente para suprir uma cidade de 2 milhões de habitantes.

Ainda segundo a Eletronuclear (2024), a segunda Usina Nuclear Brasileira Angra II, iniciou sua operação em 2001, com potência de 1.350 megawatts, também conta com a operação de um reator de água pressurizada (PWG).

A terceira Usina Nuclear Brasileira Angra III, hoje está em fase de construção, sua potência será de 1.405 megawatts. Com previsão para entrar em operação no final do ano de 2028, a energia nuclear passará a gerar o equivalente a 60% do consumo do estado do Rio de Janeiro e 3% do consumo do Brasil (ELETRONUCLEAR, 2024). Entretanto, atualmente, conforme mostrado na (Figura 3), as usinas nucleares brasileiras Angra I e II contribuem com 1,3% para a matriz energética do Brasil (IEA, 2023).

2.3.7 Eólica

A energia eólica é gerada por meio das forças dos ventos, os aerogeradores ou turbinas, transformam energia cinética em energia elétrica.

A inserção da energia eólica no Brasil se deu por meio da criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA (Lei nº 10.438/2002), iniciativa governamental destinada a diversificar a matriz energética nacional e fomentar o mercado interno para o uso dessa fonte, além de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e empreendimento termelétrico a biomassa.

De acordo com estimativas realizadas por Pereira (2016), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), considerando as atuais tecnologias para produção de energia a partir do vento e, principalmente, a utilização de aerogeradores posicionais a 100 metros de altura, o potencial eólico brasileiro *onshore* (em terra) pode chegar a 880,5 GW, sendo que 522 GW, são considerados tecnicamente viáveis.

Além disso, o potencial eólico brasileiro *offshore* (no mar) também é gigantesco, estimando-se alcançar 1,3 TW, tendo a região oceânica costeira do Nordeste as áreas mais favoráveis. Para a Região Nordestina, as estimativas apontam potencial *onshore* de 309 GW.

Segue abaixo uma tabela comparativa entre as fontes de energia:

Tabela 2: Relação de vantagens, desvantagens e impacto ambiental das principais fontes de energia.

Fonte de Energia	Tipo	Vantagens	Desvantagens	Impacto ambiental
Petróleo	Fóssil	Alta densidade energética, fácil transporte	Emissões de CO_2, poluição, esgotamento de reservas	Alto, contribui para o aquecimento global
Gás natural	Fóssil	Menor emissão de CO_2 do que o petróleo, flexibilidade	Emissões de metano, risco de vazamentos	Moderado, mas ainda significativo
Carvão Mineral	Fóssil	Abundante e barato	Alta emissão de CO_2 e poluentes, impactos na saúde	Muito alto, um dos maiores poluentes
Hidráulica	Renovável	Fonte estável e confiável, capacidade de armazenamento	Impacto ambiental significativo, deslocamento de comunidades	Alto, devido a construção de represas
Biomassa	Renovável	Utiliza resíduos, reduz dependência de combustíveis fósseis	Pode competir com a produção de alimentos	Moderado, depende da fonte e do método de produção
Nuclear	Não Renovável	Baixas emissões de CO, alta densidade energética	Risco de acidentes, resíduos radioativos	Moderado, mas com riscos significativos
Eólica	Renovável	Fonte limpa, reduz dependência de combustíveis fósseis	Intermitente, impacto visual e sonoro	Baixo, mas pode afetar a fauna local

Fonte: Adaptado pelo autor.

2.4 Energia solar fotovoltaica

2.4.1 Histórico

O efeito fotovoltaico foi descoberto por Alexandre Edmond Becquerel, físico francês, em 1839 e utilizava placas de platina e prata (VALLÊRA, 2006). A partir de então novas pesquisas e tecnologias foram desenvolvidas, até que no ano de 1954 surgiu a chamada “célula solar moderna” desenvolvida por Russell Shoemaker Ohl, Calvin Fuller e Gerald Pearson, utilizando células de silício (MOSQUEIRA, 2020). Conforme Ferreira (1993), poucos anos mais tarde, com a corrida espacial, iniciada nos anos 50 do século XX, os países fizeram o uso da energia solar, onde obtiveram resultados satisfatórios, e a partir daí essa tecnologia começou ser comercializada para uso em solo, mas devido ao seu alto custo, frente aos combustíveis fósseis, não foi observado um crescimento expressivo da tecnologia solar, até que com a chegada da crise energética dos anos 70, com o aumento do preço do petróleo.

No início do século XXI, a energia solar fotovoltaica tem crescimento expressivo no mundo. Conforme Vallera (2006), a energia solar a partir de então, assume papel de destaque no cenário mundial, como matriz energética com potencial capaz de suprir a demanda por energia através de fontes limpas, conciliando os interesses econômicos com foco na economia de escala de modo que quanto maior o número de células produzidas, menor o custo unitário.

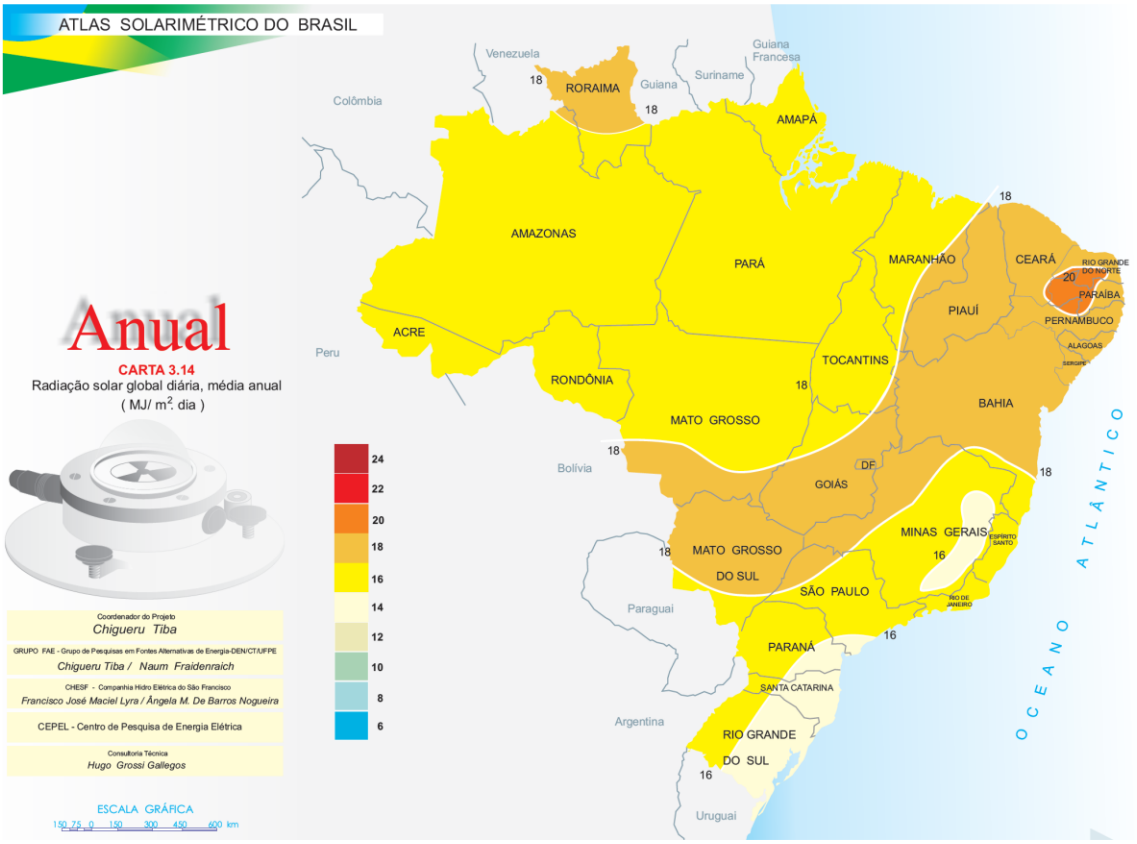
Conforme Mosqueira (2020), a participação da energia solar fotovoltaica no Brasil, só se tornou expressiva a partir do ano de 2012 com a regulação do setor de micro e minigeração distribuída, feita pela ANEEL na Resolução Normativa 482/2012, a qual promoveu um impacto disruptivo no setor de energia elétrica.

2.4.2 Disponibilidade de recursos

O principal recurso para a produção de energia solar fotovoltaica é a luminosidade e radiação solar, como o sol está presente em quase todas as partes do planeta, torna-se este recurso abundante.

A região Nordeste do Brasil apresenta o maior potencial de energia solar, conforme mostrado na figura 10, por possuir regiões com radiação solar comparável às melhores do mundo nessa variável.

Figura 10: Atlas solarimétrico do Brasil - Radiação solar global diária, média anual (MJ/ m2. dia).



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, (2000).

Entretanto, para produzir energia solar fotovoltaica, não basta apenas possuir uma média alta anual de radiação solar, também é preciso transformar esse potencial de fato em geração de energia elétrica.

Segundo (MAUAD, 2017), embora a parcela de luz emitida pelo sol que chega à superfície terrestre seja muito pequena, ela possui energia suficiente para satisfazer todas as necessidades energéticas do mundo. Para isso, equipamentos apropriados, como células fotovoltaicas, são necessários para converter toda essa energia em energia elétrica. Entretanto, uma das células fotovoltaicas com grande desempenho de conversão, a célula solar CIGS, necessita de grande quantidade dos elementos químicos Cobre, Índio, Gálio e Selênio, para ser produzida. Esses elementos são relativamente raros e caros, constituindo uma das limitações econômicas da produção de energia solar. Além disso, a quantidade desses elementos produzida atualmente é milhares de vez menor do que a que seria necessária para produzir células solares para suprir as necessidades mundiais de consumo de energia (BLEIWAS, 2010 *apud* MAUD, 2017).

2.4.3 Fatores econômicos e tecnológicos

Apesar dos desafios tecnológicos, econômicos e culturais, a energia solar tem grande potencial no Brasil devido à sua posição tropical e alta taxa de insolação. No entanto, sua exploração ainda é insignificante na matriz energética nacional (SILVA, 2015 *apud* SILVEIRA; SANTOS; MONTORO, 2019).

A viabilidade econômica de sistemas de geração de energia solar é apontada como uma das principais barreiras à realização do investimento, de modo que o elevado valor do investimento inicial e o período de recuperação dificultam a adoção para a microgeração entre famílias e empresas (VIER *et al*., 2017; ARAGÓN; PAMPLONA; MEDINA, 2013); essa dificuldade é potencializada pelas linhas de crédito restritas.

A viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica é influenciada por diversos fatores, incluindo o custo de instalação, a disponibilidade de incentivos governamentais e a evolução tecnológica. Nos últimos anos, os custos dos sistemas fotovoltaicos têm diminuído significativamente, tornando essa tecnologia mais acessível. Segundo a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2021), o custo médio global da energia solar caiu cerca de 82% desde 2010, o que tem impulsionado sua adoção em todo o mundo.

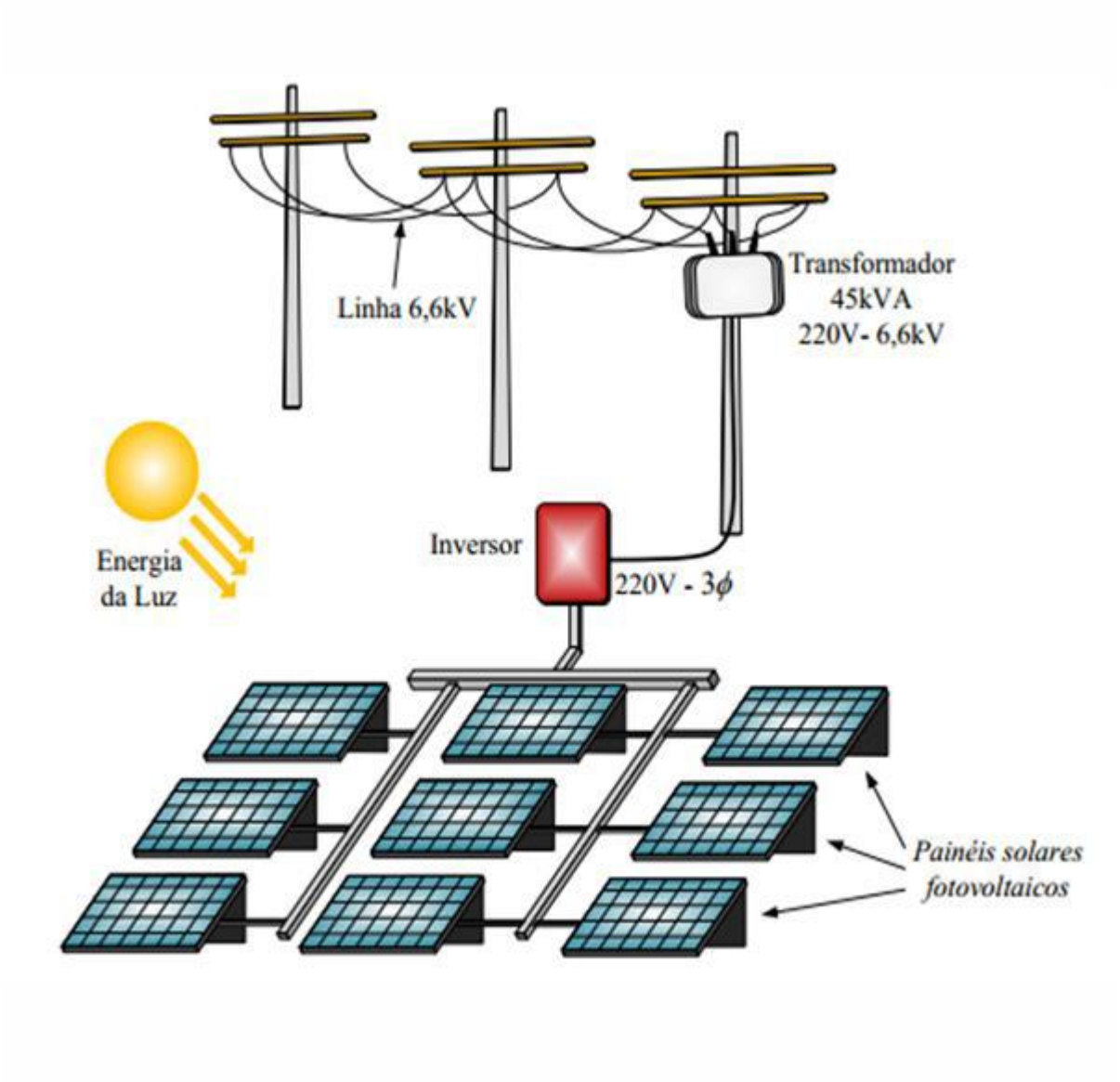
Além disso, a eficiência dos painéis solares tem aumentado com o avanço tecnológico. Tecnologias como os painéis de silício monocristalino e as células solares de *perovskita* estão em constante desenvolvimento, prometendo melhorias na eficiência e na durabilidade dos sistemas (GREEN *et al*., 2020). A pesquisa e inovação nesse setor são cruciais para reduzir ainda mais os custos e aumentar a competitividade da energia solar em relação a outras fontes de energia.

Os fatores econômicos também incluem a análise do retorno sobre o investimento (ROI) e o tempo de *payback* dos sistemas fotovoltaicos. Estudos indicam que, em muitos casos, o retorno financeiro pode ser alcançado em um período de 5 a 7 anos, dependendo das condições locais, como a incidência solar e os preços da eletricidade (SILVEIRA; SANTOS; MONTORO, 2019). Além disso, políticas de incentivo, como subsídios e créditos fiscais, têm se mostrado eficazes para estimular a adoção de tecnologias renováveis, contribuindo para a transição energética e a redução das emissões de carbono.

2.4.5 Características do sistema fotovoltaico

As usinas de energia solar fotovoltaica são providas de vários painéis solares fotovoltaicos para gerar energia elétrica através da incidência dos raios do sol como se pode ver na figura 11. Estes painéis são compostos por células solares que captam a radiação dos raios solares. As células solares utilizam o efeito fotovoltaico para absorver a radiação e gerar assim energia elétrica, a energia elétrica gerada passa pelo inversor e em seguida vai para as linhas de transmissão (OLIVEIRA, 2023).

Figura 11: Funcionamento de uma usina solar fotovoltaica Sistema *On-gride*.



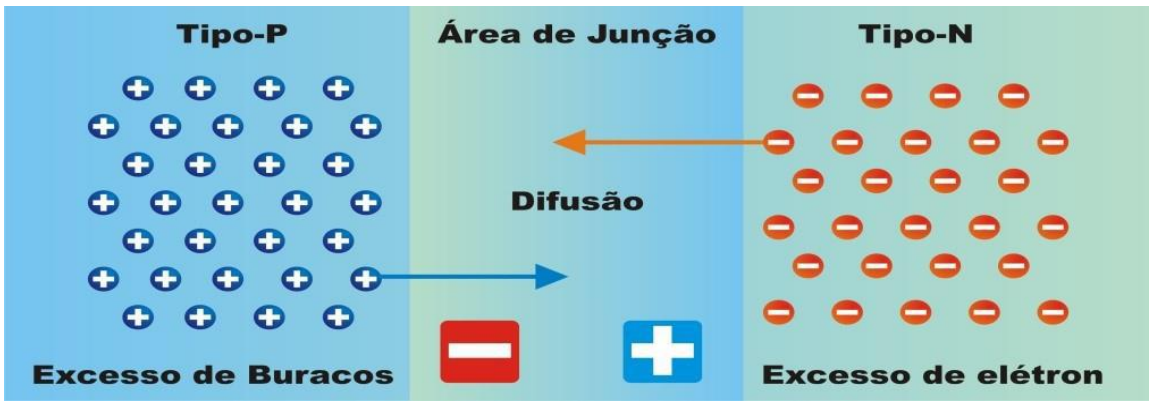
Fonte: BlueSol, (2017) *apud* Oliveira (2023).

Os painéis solares fotovoltaicos são dispositivos utilizados para converter a energia luminosa em energia elétrica. Eles são compostos por células fotovoltaicas encapsuladas que formam assim os chamados módulos fotovoltaicos também conhecidos como placas solares ou painéis fotovoltaicos.

Estes painéis são produzidos com materiais semicondutores, que utilizam o efeito fotovoltaico para converter a radiação solar em energia elétrica. Existem variados tipos de células fotovoltaicas, porém a mais utilizada é a que é feita de silício.

O silício possui quatro elétrons de valência, e para atingir uma sustentação estável se unem a quatro átomos próximos, virando uma rede cristalina. Se o silício for misturado nos átomos de Arsênio ou de Fósforo que tem 5 elétrons na camada de valência, um desses elétrons vai ficar livre, permitindo que com pouca energia térmica esses elétrons vão para a banda de condução. Se a junção P-N for exposta à luz solar, os fótons com energia maior ao gap liberam mais lacunas - elétrons livres que liberam uma corrente elétrica no local de junção. Na Figura 12 pode-se observar esse fluxo.

Figura 12: Disfunção de elétrons na junção J-P.



Fonte: BlueSol, (2017) *apud* Oliveira (2023).

As células solares possuem uma fina camada de material tipo N e a outra camada mais espessa de material tipo P (ARAÚJO, 2004). Os sistemas fotovoltaicos são classificados de acordo à forma como gera e distribui a energia elétrica: sistemas isolados, sistema híbrido, sistema autônomo e sistema conectado à rede (BlueSol, 2017).

Hoje as duas principais tecnologias fotovoltaicas de composição das placas são de silício monocristalino e policristalino, abordando aspectos como eficiência,

custo, desempenho em diferentes condições climáticas e outras características relevantes são apresentadas abaixo na tabela 3.

Tabela 3- Comparação do material da placa fotovoltaica.

Aspecto	Silício Monocristalino	Silício Policristalino
Eficiência	15% a 22%	13% a 17%
Custo	Geralmente mais caro devido ao processo de fabricação mais complexo	Geralmente mais acessível, mas com menor eficiência
Desempenho em Baixa Luz	Melhor desempenho em condições de baixa luminosidade	Desempenho inferior em condições de baixa luminosidade
Desempenho em Altas Temperaturas	Desempenho relativamente bom, mas a eficiência pode cair com o aumento da temperatura	Desempenho pior em altas temperaturas, com maior queda na eficiência
Espaço Necessário	Requer menos espaço para a mesma quantidade de energia gerada devido à maior eficiência	Requer mais espaço devido à menor eficiência
Durabilidade	Vida útil média de 25 a 30 anos	Vida útil média de 20 a 25 anos
Impacto Ambiental	Produção mais intensiva em energia, mas reciclável	Produção menos intensiva em energia, mas também reciclável
Aplicações Comuns	Usinas solares, sistemas residenciais, aplicações comerciais	Usinas solares, sistemas residenciais, aplicações comerciais
Estética	Geralmente mais estéticos, com cor uniforme e design mais elegante	Pode ter aparência menos uniforme, com variações de cor

Fonte: Canal Solar, adaptado pelo autor.

O silício monocristalino geralmente oferece maior eficiência em comparação ao policristalino, o que significa que menos painéis são necessários para

gerar a mesma quantidade de energia. Embora, o silício policristalino seja mais acessível, a diferença de custo pode ser compensada pela maior eficiência do silício monocristalino em aplicações onde o espaço é limitado.

Quanto ao desempenho em condições climáticas o silício monocristalino tende a ter um desempenho melhor em condições de baixa luminosidade e temperaturas elevadas, enquanto o policristalino pode sofrer uma queda de eficiência mais acentuada em altas temperaturas.

Referente a durabilidade ambos os tipos de células têm uma vida útil considerável, mas o silício monocristalino geralmente tem uma vida útil ligeiramente mais longa.

Analisando o Impacto Ambiental ambos os tipos de células têm impactos ambientais associados à sua produção, mas ambos são recicláveis, o que é um ponto positivo em termos de sustentabilidade.

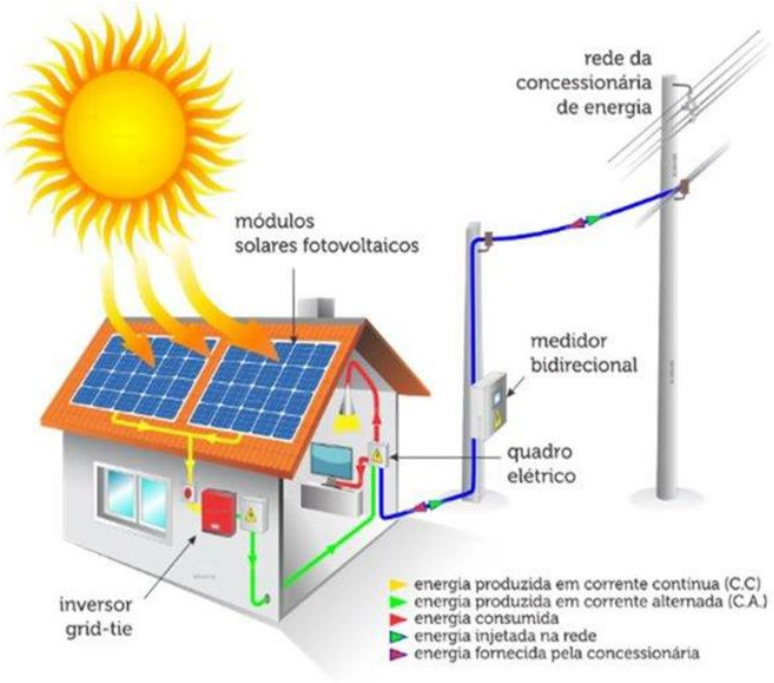
Um sistema fotovoltaico isolado é aquele que não tem contato nenhum com a rede de distribuição de eletricidade das concessionárias, mas podem ter ou não um sistema de armazenamento de eletricidade. Esse sistema pode ser classificado em híbrido ou autônomo, sendo que os autônomos podem ser com, ou sem armazenamento de eletricidade.

Sistemas híbridos são aqueles que trabalham em conjunto com outro sistema de geração de energia elétrica, que pode ser um aerogerador (sistema híbrido solar-eólico), ou qualquer outro sistema de geração de energia elétrica, podem dispor de unidades de armazenamento ou podem ser ligados às redes elétricas de distribuição.

Sistema autônomo é um sistema fotovoltaico puro que não possui outra forma de geração de eletricidade. Devido ao fato desse sistema só gerar eletricidade nas horas de sol, os sistemas autônomos podem ser dotados ou não de acumuladores que armazenam a energia para os períodos sem sol.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede fornecem energia somente para as redes de distribuição. Todo o potencial gerado é rapidamente escoado para a rede, que age como uma carga, que absorve toda energia. Esse tipo de sistema não utiliza sistemas de armazenamento de energia, por isso são mais eficientes que os sistemas autônomos, além de, geralmente, serem mais baratos. Observar na Figura 13 um exemplo de sistema ligado à rede distribuição.

Figura 13: Exemplo de um sistema fotovoltaico ligado à rede de transmissão (Sistema *On-gride*).



Fonte: BlueSol, (2017) *apud* Oliveira (2023).

Esse tipo de sistema como ilustra a figura 13, citado pelo site Ciasolar (2016), ele está conectado direto na rede de distribuição, os módulos solares fotovoltaicos faz a conversão da luz solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico que acontece nas células solares já explicado anteriormente, a corrente contínua gerada pelos módulos passam por um inversor DC/AC utilizado para converter essa corrente contínua, em corrente alternada com tensões geralmente de 110~220V para alimentar todo circuito de uma residência, passando pelo quadro geral elétrico, depois passa pelo medidor bidirecional e assim chega até a rede da concessionária de energia, esse medidor bidirecional sua função é caso o sistema solar gere mais energia do que a consumida pela residência ele literalmente gira para trás, pois a residência está com a demanda baixa e da rede de distribuição retorna para a mesma a eletricidade.

2.4.6 Vantagens e desvantagens do sistema fotovoltaico

Entre as vantagens de adoção do sistema fotovoltaico, está a fonte de energia renovável. A energia solar fotovoltaica trata-se de uma energia limpa, pois não

gera nenhum tipo de poluição. A instalação é simples e não há consumo de combustíveis.

Segundo Braga (2008), as vantagens fundamentais são:

- Não consome combustível;
- Não produz poluição e nem contaminação ambiental;
- É silencioso;
- Tem uma vida útil superior a 25 anos;
- É resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e umidade);
- Não possui peças móveis e, portanto, exige pouca manutenção (somente a limpeza do painel);
- Permite aumentar a potência instalada através da incorporação de módulos adicionais;
- Gera energia mesmo em dias nublados.

Dentre as desvantagens destaca-se a grande área necessária para a produção de energia elétrica, ou seja, grandes extensões territoriais ficam ocupadas com painéis solares para a produção de energia.

Para Braga (2008), as principais desvantagens são:

- As células fotovoltaicas necessitam de tecnologia sofisticada para a sua fabricação;
- O custo de investimento é elevado;
- O rendimento real de conversão de um módulo é reduzido, face ao custo de investimento;
- Seu rendimento é atrelado ao índice de radiação, temperatura, quantidade de nuvens dentre outros.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracteriza como um estudo de caso, exploratório com finalidade aplicada, a partir de uma abordagem que congrega elementos qualitativos para o levantamento das informações primárias e quantitativa para a construção do resultado de eficiência do sistema e sua viabilidade econômico-financeiro. Este estudo terá como estratégia metodológica o estudo de caso, como forma de evidenciar um caso prático e representativo de um sistema de energia solar fotovoltaico no IFMG

Campus Santa Luzia, localizado na Rua Érico Veríssimo, 317, Londrina, Santa Luzia/MG, CEP: 31115-390.

Em que pese a impossibilidade da replicação dos resultados, espera-se que os resultados propostos para este caso específico despertem a atenção de gestores do *Campus* para que se for necessário, que haja a ampliação do sistema fotovoltaico.

Os dados primários serão alcançados por meio de entrevista não estruturada com o DAP (Diretoria de Administração e Planejamento), que disponibilizará as informações brutas quanto ao consumo (demanda do *Campus*) de energia e valores desembolsados para o pagamento da energia junto à concessionária de energia.

Os dados secundários permitirão a construção do fluxo de caixa, desde a melhor compreensão do sistema por meio da literatura até os valores do investimento e custos de operação.

3.1 Coleta de Dados

3.1.1 Dados Técnicos do Sistema:

Por meio de um programa realizado em todos os campi do IFMG, foi instalado em 2019 63 unidades de painéis fotovoltaicos, no *Campus* Santa Luzia. Em 2022 houve a ampliação do sistema existente, com o acréscimo de 104 unidades de painéis fotovoltaicos, o *Campus* recebeu essa grande quantidade de painéis, por ter melhores condições de produção de energia solar fotovoltaica.

A Usina Fotovoltaica 1 foi instalada sobre o telhado do bloco B e a Usina Fotovoltaica 2 também foi instalada sobre o telhado do bloco B, conforme indicado na figura 14.

Figura 14: Vista superior do *Campus* Santa Luzia. O Bloco B está indicado pela seta vermelha.



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor.

As placas estão posicionadas com sua inclinação voltada para o norte, possuem uma rotação de 27° no sentido anti-horário em relação ao norte.

A instalação voltada para o norte é assertiva, pois dessa forma a usina tem a possibilidade de produzir energia com sua capacidade máxima, no quesito de absorção de radiação solar.

As figuras 15 e 16 a seguir, são registros das Usinas Fotovoltaicas existente no *Campus.*

Figura 15: Usina Fotovoltaica 1 e 2, localizada sobre o Bloco B do *Campus* Santa Luzia.



Fonte: GUIMARÃES, 2022.

Figura 16: Usina Fotovoltaica 1 e 2, localizada sobre o Bloco B do *Campus* Santa Luzia.



Fonte: GUIMARÃES, 2022.

Os módulos fotovoltaicos utilizados na Usina fotovoltaica 1 são da marca CanadianSolar, modelo CS6U-325P, com potência máxima de 325W, eficiência do módulo de 16,72%, e dimensões de 199,9cm x 99,3cm x 4,0cm (comprimento/largura/altura). O módulo possui certificado da ISO 9001 (2008), ISO 14001 (2004) e OHSAS 18001 (2007), evidencia sua conformidade.

Figura 17: Modelo do módulo utilizado na Usina Fotovoltaica 1.



Fonte: Site do fabricante.

São 63 módulos FV instalados na cobertura da edificação com afastamento de 15cm da cobertura, e inclinação de 10°, paralelos ao telhado, conforme pode ser observado na Figura 16. A potência instalada é de 20,47kWp, com área em torno de 125m². Estão conectados à rede através de um inversor do modelo Growatt 20000 TL3-S (figura 18) trifásico.

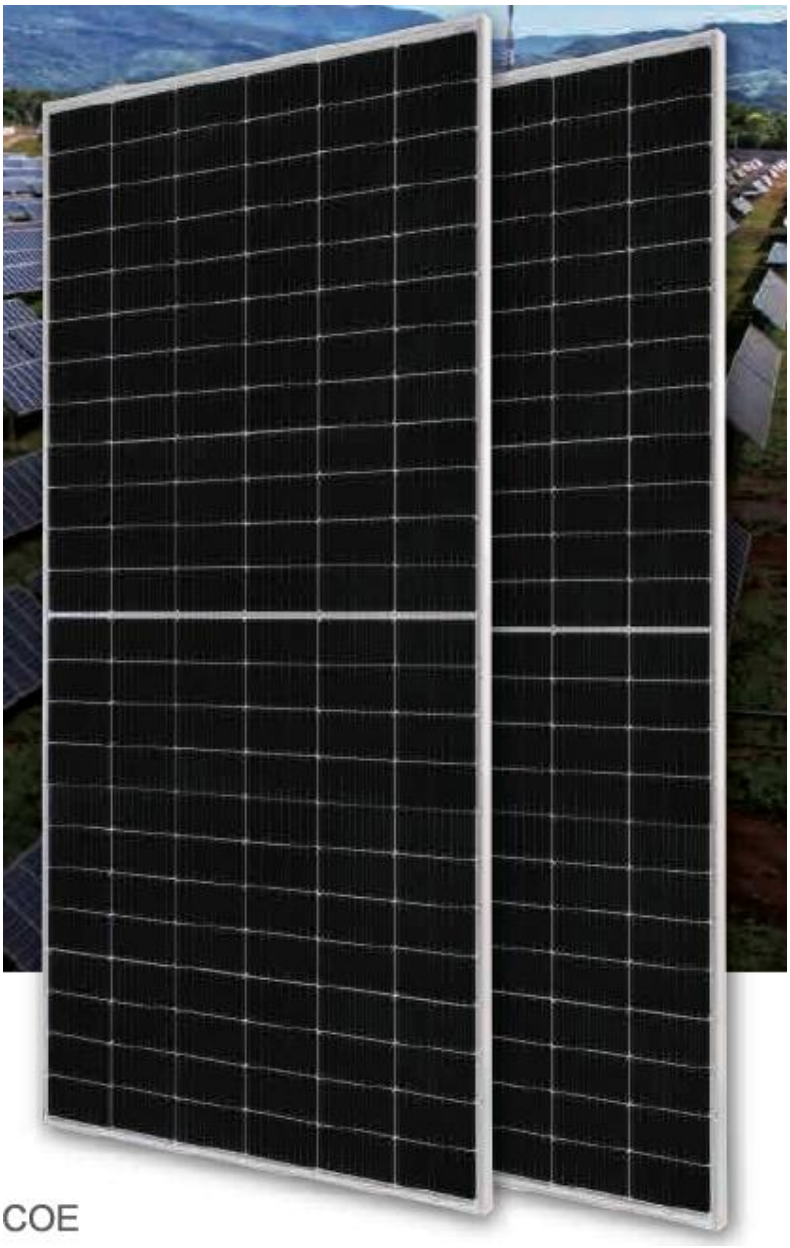
Figura 18: Inversor utilizado na UFV1.



Fonte: Site do fabricante.

Já os módulos fotovoltaicos utilizados na Usina fotovoltaica 2 são da marca JA SOLAR, modelo JAM72S30-535/MR, com potência máxima de 553W, eficiência do módulo de 20,70%, e dimensões de 227,9cm x 113,4cm x 3,5cm (comprimento/largura/altura). O módulo possui certificado da IEC 61215, IEC 61730, ISO 9001 (2015), ISO 14001 (2015) e ISO 45001 (2018), justificando sua escolha.

Figura 19: Modelo do módulo utilizado na Usina Fotovoltaica 2.



Fonte: Site do fabricante.

São 104 módulos FV instalados na cobertura da edificação com afastamento de 15cm da cobertura, e inclinação de 10°, paralelos ao telhado. A potência instalada é de 55,64kWp, com área em torno de 269m². Estão conectados à rede através de três inversores do modelo GW50KLV-MT (figura 20) trifásico.

Figura 20: Inversores utilizado na UFV2.



Fonte: site do fabricante.

3.1.2 Coleta de produção de energia

Para a realização deste estudo, foram coletados dados referentes ao consumo de energia elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Santa Luzia, abrangendo o período de 2014 até 2022. Os dados foram obtidos a partir das faturas mensais da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), que o *Campus* possui em seus registros. As informações foram organizadas em planilhas, onde foram registradas as quantidades de energia consumida em quilowatts-hora (kWh) a cada mês.

Os dados foram segmentados em duas categorias: a energia consumida diretamente pela produção das Usinas Fotovoltaicas (UFV), e a energia consumida da CEMIG, representada por barras vermelhas. Como o sistema de energia solar não acumula energia em baterias, a energia gerada pelas UFVs foi considerada apenas durante o dia, quando a produção solar estava disponível. O consumo da CEMIG foi

registrado para períodos em que a demanda superou a produção das UFVs, como à noite e em dias nublados ou chuvosos.

Os valores pagos nas faturas foram analisados para determinar a economia gerada pela energia produzida pelas UFVs. Para isso, foram calculados os valores que teriam sido pagos caso as usinas não estivessem em funcionamento, permitindo a comparação entre os custos reais e os custos hipotéticos. Essa análise foi obtida com os valores pagos efetivamente.

Além disso, foram coletados dados sobre os preços do kWh em diferentes períodos, incluindo a Hora de Pico (HP) e Fora da Hora de Pico (FHP), para avaliar as variações nos custos da energia ao longo do tempo.

A análise dos dados também incluiu a comparação do consumo médio de energia nos meses de abril, agosto, setembro e outubro de 2019 e 2022, a fim de identificar tendências de redução no consumo. Essa comparação foi realizada para entender melhor os efeitos das mudanças nas práticas de consumo e a implementação de tecnologias mais eficientes, como a troca de lâmpadas fluorescentes por LEDs e o uso de climatizadores evaporativos.

Por fim, a metodologia adotada permitiu uma avaliação abrangente da eficiência dos sistemas de energia fotovoltaica e seu impacto econômico e ambiental no *Campus*, contribuindo para a discussão sobre a viabilidade da energia solar como uma alternativa sustentável na matriz energética.

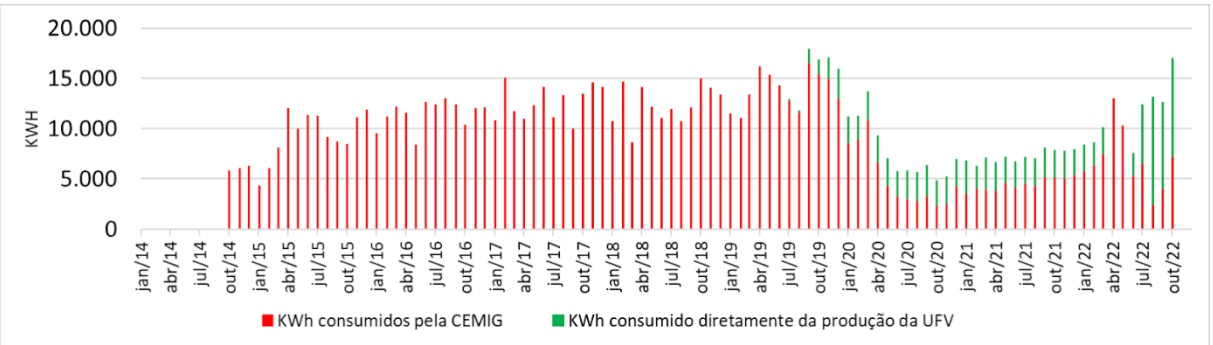
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados econômicos e de consumo

A figura 21 apresenta o consumo em kWh a cada mês desde 2014 do IFMG, conforme as faturas da CEMIG que o *Campus* possui em seus registros. As barras correspondem à energia consumida, em kWh, em cada mês. As barras verdes correspondem à energia consumida diretamente pela produção das UFV e as vermelhas à consumida pela CEMIG. Como o sistema não acumula energia por baterias, a energia consumida pelas UFVs se dá durante o dia, quando há luz solar e produção. Já o consumo da CEMIG ocorre quando a demanda de uso é maior que a produção e para o consumo sem luz solar, como à noite e em dias nublados e chuvosos. Pode-se observar que alguns meses/ano o consumo de energia UFV foi

superior ao consumo da CEMIG, como em alguns meses em 2020, nestes anos, isto pode ter ocorrido devido a pandemia, sem presença de estudantes no *Campus*, mas pode verificar que em 2022 também em alguns meses que o consumo por UFV foi superior aos da CEMIG como junho, julho, agosto, setembro e outubro de 2022, possivelmente, por serem meses mais frio sem necessidade do uso dos climatizadores, mas para tal afirmação precisa de estudos mais aprofundados. Existe também algumas incoerências que precisam ser analisadas mais profundamente como abril e maio de 2022.

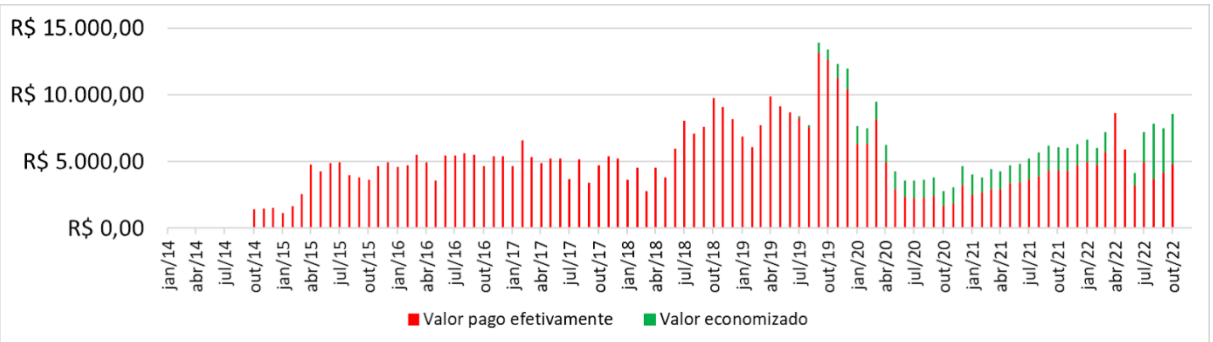
Figura 21: Gráfico de kWh consumidos da CEMIG e direto da UFV



Fonte: IFMG, 2022.

A figura 22 apresenta os valores pagos nas faturas (em vermelho) e o que seria pago caso as usinas não estivessem em funcionamento ou não existissem, correspondendo, assim, à economia derivada da energia produzida por elas (barras verdes). Esses valores foram calculados a partir dos valores de kWh consumidos diretamente da CEMIG e dos injetados na rede (produzidos pela UFV). Ou seja, quando a produção da UFV é maior que o consumo, ela é, de maneira aqui simplificada, devolvida à rede, sendo o valor indicado como um desconto na fatura e apresentado como “energia injetada” na rede.

Figura 22: Gráfico de valores pagos efetivamente e economizados pela UFV



Fonte: IFMG, 2022.

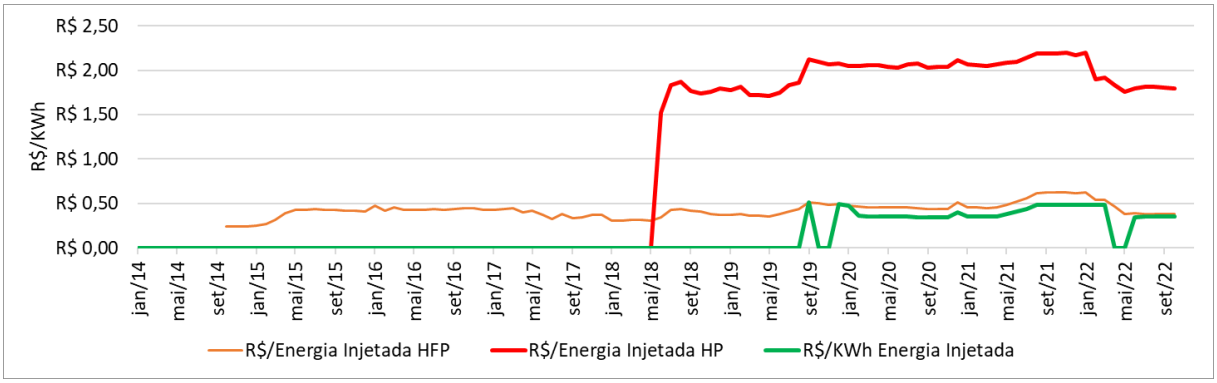
Fazendo uma comparação entre os gráficos dos anos anteriores como entre julho de 2018 a abril de 2020 houve maiores consumos e gastos com energia, comparado a maio de 2020 até outubro de 2022, parte se deve ao período de pandemia, mas mesmo após o retorno em 2022 o consumo de energia tanto da concessionária bem como da UFV o consumo foi menor. Isto deixar claro que se torna necessário um maior acompanhamento destes gastos bem correções necessárias que estejam com problemas.

O Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) também implementou um sistema de energia solar em seu *Campus*, com resultados positivos. Um estudo de caso realizado em 2019 indicou que a energia gerada pelas UFVs cobriu cerca de 40% do consumo total de energia da instituição. Os pesquisadores destacaram a importância da energia solar na redução dos custos operacionais e na promoção de práticas sustentáveis, além de servir como um laboratório vivo para os alunos, que puderam acompanhar e analisar o desempenho do sistema (MARTINS; OLIVEIRA, 2019).

A Universidade Federal do Paraná (UFPR) também se destacou na implementação de sistemas de energia solar. Um estudo realizado em 2021 mostrou que a instalação de painéis solares resultou em uma redução de 20% no consumo de energia elétrica da instituição. Os pesquisadores enfatizaram a importância da energia solar na formação de uma cultura de sustentabilidade entre os alunos e na redução da pegada de carbono da universidade (PEREIRA; LIMA, 2021).

A figura 23 apresenta os valores do kWh (em R$/kWh) em Hora de Pico (HP), Fora da Hora de Pico (FHP) e de Energia Injetada e suas respectivas variações ao longo dos meses e anos. Em outros termos, quanto custa uma unidade de energia (o kWh) consumida e de energia injetada. Embora existam flutuações nos valores ao longo dos meses, nota-se que são relativamente pequenas, de modo que cada linha do gráfico apresentaria uma linha de tendência quase plana, inclusive se aproximando em 2022 aos valores de 2018 e 2019. Isso sugere que os valores apresentados na Figura 22 não são significativamente influenciados pelo valor do kWh. Nota-se, por fim, que o valor de HFP antes de abril/18 não era cobrado. E, no caso da energia injetada, os meses com valores zerados correspondem a situações em que a usina não produziu por problemas técnicos.

Figura 23: Gráfico de valores do kWh em HP, FHP e de Energia Injetada



Fonte: IFMG, 2022.

Merece destaque também a energia consumida entre 17h às 20h, chamada de Hora de Pico (HP), representada na Figura 23 pela linha vermelha. Nesse horário, o valor do kWh é significativamente mais alto (entre 4 a 5 vezes maior) e a produção das UFV é baixa ou nula (final do dia e início da noite). Ao mesmo tempo, o *Campus* geralmente está em pleno funcionamento nesse horário, correspondendo ao início das aulas do período noturno. Ou seja, caso o consumo nesse horário não fosse tão elevado (por exemplo, com alteração nos horários de início das aulas), a energia consumida nesse horário (que é mais cara) poderia ser menor. No entanto, isso envolve questões mais amplas da instituição e que, quando avaliadas em conjunto, podem inviabilizar alterações dessa natureza.

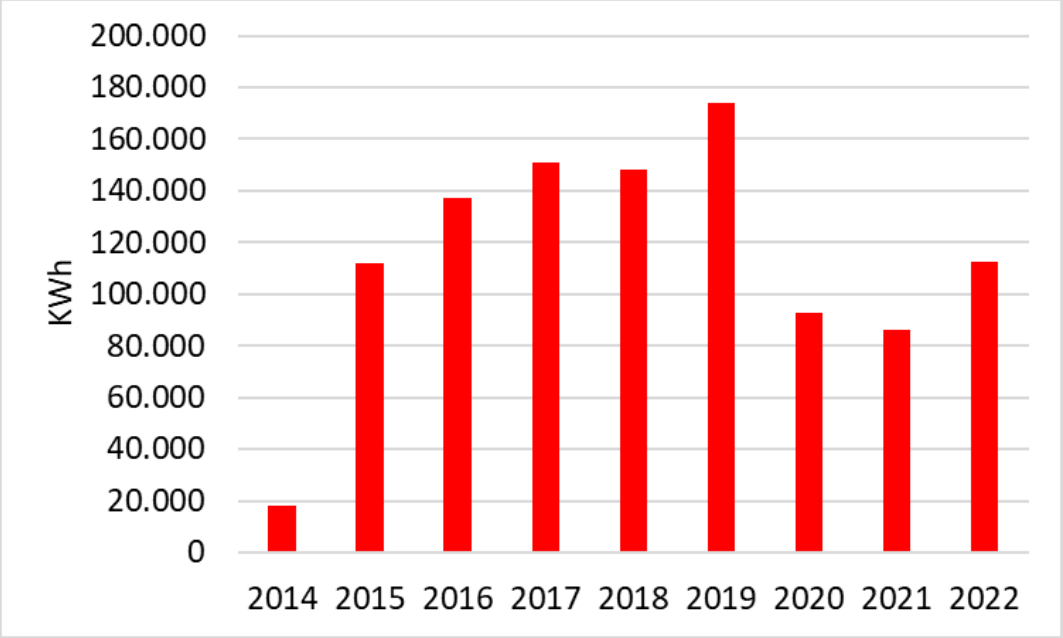
Desde que foram instaladas em agosto/2019, a energia produzida pelas UFV corresponde a 30% do total de energia consumida no C*ampus*. A economia total foi de R$53.647,54, ou 21% a cada mês. Em julho/2022 foi instalada a segunda usina. Se forem considerados somente os dados a partir desse mês, os dados apontam até outubro/2022 uma economia mensal média de 42% (a figura 21 também evidencia o aumento da produção das UFV a partir de julho/22). Isso indica que o padrão de produção de energia e a respectiva economia foi alterado para outro patamar desde a instalação da segunda UFV. Ressalta-se que já foram observados em alguns momentos que a primeira UFV interrompe a produção por problemas técnicos que, em algumas situações, demandaram alguns dias para solução e retorno da produção.

Por exemplo, em 2022, os meses de abril e maio não tiveram produção e a solução demandou assistência mais especializada. Ou seja, sem essas situações, a economia poderia ser ainda maior.

Outra constatação importante é que os dados também apontam uma redução no padrão de consumo de energia do C*ampus* recentemente, conforme a figura 24. Nos meses de abril, agosto, setembro e outubro de 2019 (antes do período remoto emergencial), a média mensal de consumo foi de 15.639 kWh. Nos mesmos meses de 2022 (após o retorno às atividades presenciais e saltando-se os meses de greve), a média foi de 13.903 kWh, ou seja, uma redução média mensal de 11%.

Embora isso necessite outro tipo de análise e monitoramento, essa redução ocorreu provavelmente pela troca progressiva de lâmpadas fluorescentes por led e pelo menor uso de ar-condicionado na sala dos professores e auditório, como decorrência de maior utilização dos climatizadores evaporativos instalados em 2022.

Figura 24: Gráfico de consumo anual de energia no *Campus*



Fonte: IFMG, 2022.

O Quadro 1 a seguir apresenta em resumo os principais dados de consumo e produção das UFV.

Quadro 1: Dados desde a instalação das Usinas Fotovoltaicas em agosto/2019

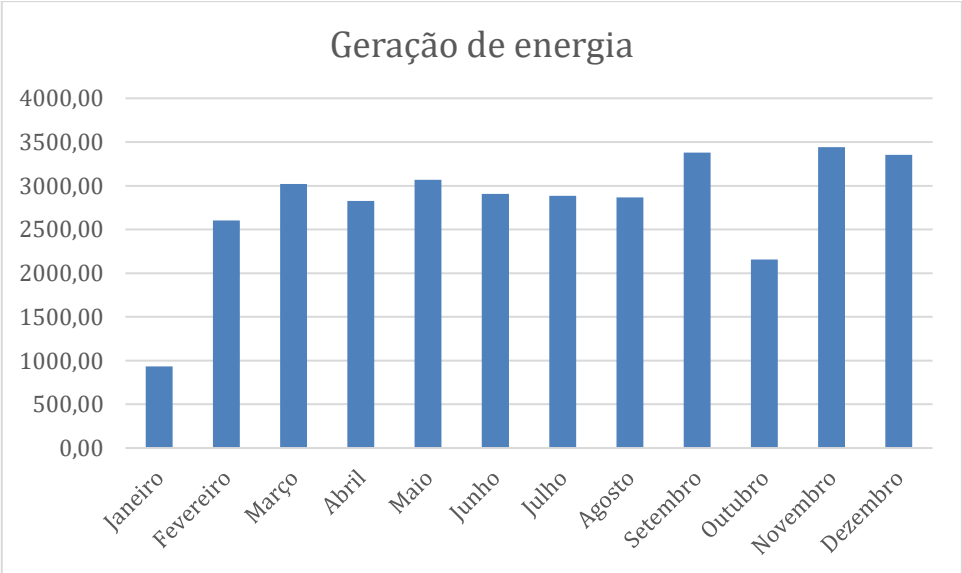
Número de painéis Usina Fotovoltaica 1 (2019	63 unidades
Número de painéis Usina Fotovoltaica 2 (2022)	104 unidades
KWh consumido pelo C*ampus* Ago/2019 a Out/2022	384.126 kWh
KWh produzido pelas Usinas Fotovoltaicas. Ago/2019 a Out/2022	115.492 kWh
KWh produzido pelas Usinas Fotovoltaicas (%)	30%
R$ que seriam pagos sem Usinas Fotovoltaicas	R$ 257.168,75
R$ economizados com Usinas Fotovoltaicas	R$ 53.647,54
Economia média mensal (%)	21%

Fonte: DAP (IFMG), 2022.

4.2 Dados de produção da UFV

Abaixo no gráfico a geração teórica e a geração real do UFV, os dados coletados indicam que a produção média mensal de energia foi de 2719,08 kWh, o que representa uma eficiência de 85% em relação à capacidade instalada. A literatura recente mostra que a eficiência dos sistemas fotovoltaicos varia entre tecnologias de silício monocristalino e policristalino, com implicações significativas para a escolha de sistemas em projetos de engenharia civil (GREEN *et al.*, 2020).

Figura 25: Produção de energia Usina Fotovoltaica 1 (kWh).



Fonte: DAP (IFMG), 2022.

Tabela 4: Comparativo de produção de energia de teórica e real da Usina Fotovoltaica 1

Mês	Geração de energia (kWh)
Janeiro	934,00
Fevereiro	2604,00
Março	3020,00
Abril	2826,00
Maio	3067,00
Junho	2907,00
Julho	2883,00
Agosto	2867,00
Setembro	3380,00
Outubro	2155,00
Novembro	3442,00
Dezembro	3354,00

Fonte: DAP (IFMG), 2022.

Os dados de produção de energia da Usina Fotovoltaica 2, não foram disponibilizados.

4.3 Análise de Desempenho do Sistema e eficiência energética

Para que os projetos possam ser executados com qualidade e garantia de cumprimento destas metas, é necessária mão de obra capacitada e especializada, visto que dependem de produtos com certificação de origem e/ou selo de eficiência (MONZONI *et al.*, 2017).

É necessário que as empresas desenvolvedoras/implementadoras dos projetos no âmbito das edificações sustentáveis – incluindo as atividades de *retrofit* e geração de energia solar fotovoltaica em sistema de geração distribuída – apresentem relatórios claros quanto ao ganho econômico da implantação dos projetos, contribuindo para assegurar a confiança dos bancos e dos clientes (MONZONI *et al.*, 2017).

O termo *retrofit* designa a modernização de um sistema já existente que tem como propósito melhorar desempenho, eficiência e/ou aparência.

O controle para que as placas solares tenham sua eficiência máxima, produzindo o máximo de energia, não é um problema para o Brasil. Segundo Silva (2015), a irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro varia de 4.200 a 6.700 kWh/m² /ano, superior às obtidas em países que hoje são expoentes do uso da energia solar: 900 a 1.250 kWh/m² /ano na Alemanha; 900 a 1.650 kWh/m² /ano na França; e 1.200 a 1.850 kWh/m² /ano na Espanha.

4.4 Análise de viabilidade econômica

4.4.1 Aspectos econômicos e financeiros

Por meio de orçamentos realizado com empresas no mercado estima-se que o investimento inicial para a construção da usina já instalada foi de R$140.827,71 de materiais e R$ 120.690,00 de mão de obra; totalizando o valor de R$261.517,71.

Realizou-se esta estimativa, pois o valor investido pelo *Campus* nas UFVs, não foi disponibilizado.

Além disso, foi feito uma suposição que o valor dos juros é de 3% ao ano.

Tabela 5: Investimento Usina Fotovoltaica 1 e 2

Valor investido	R$ 261.517,71
Taxa de juros (a.a.)	3%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Produção média anual entre o período de Agost/2019 a Out/2022, totalizando 38 meses, ou seja, 3,17 anos.

Tabela 6: Produção média anual (kWh)

Período	Quant. Produzida (kWh)
Agost/2019 a Out/2022	115.942
Prod. Média	36.575

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor do kWh foi determinado a partir de uma fatura de energia da concessionária CEMIG, que se encontra no anexo com todas as informações de consumo do *Campus.*

Tabela 7: Valor do kWh a partir da fatura Jun/2022

Consumo de kWh	5166
Valor da fatura (R$)	4.295,00
Valor do kWh (R$)	0,83

Fonte: Elaborado pelo autor.

A economia média esperada por ano com a implementação da UFV é de R$ 30.357,25; e pode ser observada na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8: Produção média anual (R$)

Prod. Média (kWh)	36.575
Valor do kWh (R$)	0,83
Total	30.357,25

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Fluxos de Caixa

Os fluxos de caixa esperados para os próximos 9 anos é de R$ 30.357,25 ao ano, com retorno positivo esperado para a implementação da usina após esse período. No ano zero, observa-se, a partir da Tabela 9, considerando que teve o investimento próprio.

Tabela 9: Estimativas econômicas com a UFV

Anos	Períodos	Fluxo de caixa	Saldo	Fluxo descontado	Saldo descontado
2019	0	- 261.517,71	- 261.517,71	- 261.517,71	- 261.517,71
2020	1	30.357,25	- 231.160,46	29.473,05	- 232.044,66
2021	2	30.357,25	- 200.803,00	28.614,62	- 203.430,04
2022	3	30.357,25	- 170.445,75	27.781,84	- 175.648,20
2023	4	30.357,25	- 140.088,50	26.972,02	- 148.676,18
2024	5	30.357,25	- 109.731,25	26.186,43	- 122.489,75
2025	6	30.357,25	- 79.374,00	25.423,72	- 97.066,03
2026	7	30.357,25	- 49.016,75	24.683,22	- 72.382,81
2027	8	30.357,25	- 18.659,50	23.964,29	- 48.418,52
2028	9	30.357,25	11.697,75	23.266,30	- 24.720,77

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Estima-se um retorno de investimento de até 9 anos, obteve-se estes resultados para as estratégias de geração de energia distribuída do *Campus.*

Em outro projeto que teve como base a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Utilizou-se o método do Fluxo de Caixa Descontado para analisar a viabilidade econômica e financeira do projeto. Projetou-se uma estrutura para 5 MW que exigiria um investimento de R$ 25,5 milhões para instalar painéis solares em uma área próxima a 4 hectares. O modelo apresentou viabilidade econômica para a SPE até o limite de 39,9% de deságio na tarifa média atual, o que representaria uma economia estimada de R$1.230.882/ano à FCAV, podendo gerar uma folga no orçamento de custeio da FCAV de 40% (SILVEIRA *et al.*, 2019).

4.5 Estudo de Viabilidade para Expansão

O *Campus* Santa Luzia possui toda a área de telhado do Bloco A, C e Ginásio para realizar a ampliação das UFV atualmente. A expansão das UFV sobre o telhado do Ginásio não é recomendada devido a sua alta inclinação e improvável recebimento de radiação solar durante apenas um período do dia.

Uma das maiores dificuldades da implantação de placas solares é a necessidade de espaço compatível com a capacidade da instalação do sistema. Em trabalho na UNESP em jabuticabal verificou que o *Campus*, além do excesso de espaço disponível, possui áreas destinadas a agricultura, que não possui vegetação nativa perto. Outra vantagem do *Campus* para a instalação é o terreno estar longe de prédios (pelo sombreamento) e casas, levando em consideração a alta voltagem do sistema e a proibição de acesso por pessoas desautorizadas (SILVEIRA *et al*. 2019). O *Campus* de Santa Luzia apesar de não possuir muitos espaços disponíveis, possui os telhados dos blocos A e C com potencial de instalação como da Unesp e não possui sombreamento.

Foi realizado 3 orçamentos em empresas diferentes, a Corsolar que consta em anexo neste trabalho, a Portal Solar (https://www.portalsolar.com.br/) e a Neosolar empresa Corsolar, que também consta em anexo neste trabalho.

Abaixo uma tabela resumo dos valores coletado em duas empresas e um site (Tabela 10).

Tabela 10: Orçamento em diferente empresas e site.

Fatores	Empresas		
	Corsolar	Portal Solar	Neosolar
Número de painéis	162	167	159
Área necessária (m^2)	410	556	306
Geração de energia-Potência Kwp/mês	89,91	91,85	43,76
Potência do kit KWP	5.190	4.497	5.369
PayBack estimado meses	108	85	62
Custo total (R$)	261.517,71	394.955,00	262.542,30 – 350.056,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de execução por painel das UFV pela empresa Corsolar, gira em torno de R$ 745,00. Estima-se um valor total de R$ 120.690,00 à vista, para instalar uma Usina Fotovoltaica com 162 painéis. Conforme a proposta em anexo os valores para a compra dos materiais seriam de 140.827,71; e o custo atual para dobrar a produção de energia do *Campus* seria de R$ 261.517,71.

Com base no consumo de energia do Campus registrado pela CEMIG, o dimensionamento realizado por meio da calculadora do site Portal Solar indicou a necessidade de 167 módulos fotovoltaicos, resultando em uma potência estimada de 91,85 kWp. Entre as alternativas analisadas, este cenário apresentou o maior valor de geração de energia, contudo trata-se de uma estimativa obtida por ferramenta online, devendo ser interpretada como uma projeção preliminar.

Por outro lado, a empresa Neosolar apresentou orçamento intermediário, variando entre R$ 262.542,30 e R$ 350.056,40, com um sistema composto por 159 módulos fotovoltaicos e potência estimada de 43,76 kWp. Neste cenário, foi indicada uma economia mensal aproximada de R$ 4.241,50, evidenciando a viabilidade econômica do projeto dentro dos parâmetros analisados.

Um trabalho que teve como objetivo geral o dimensionamento de um sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede elétrica na cidade de Sobral, Ceará, com a finalidade de analisar a viabilidade financeira de sua implementação na Universidade Federal do Ceará – *Campus* Mucambinho. Mostrou que os resultados

indicam que a economia gerada ao final do primeiro ano será de aproximadamente R$ 626.133,00. Com base no valor do investimento necessário pela universidade e na economia projetada após o primeiro ano, é possível avaliar a viabilidade econômica do projeto através de três indicadores financeiros fundamentais: *payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). A análise do *payback*, considerando um horizonte de 25 anos, revelou que, ao final desse período, o lucro obtido com a usina de energia solar será equivalente a 373,75% do valor investido. Em complemento, a avaliação do VPL demonstrou que o projeto proporcionará retorno financeiro a partir do sétimo ano, com um lucro estimado de cerca de 106,68% do investimento após 25 anos. Por fim, o cálculo da TIR resultou em um valor de 18,68%, indicando a rentabilidade do projeto em comparação a outras opções de investimento.

Diante das análises realizadas e dos objetivos propostos neste estudo, conclui-se que a implementação do sistema de energia solar fotovoltaica na Universidade Federal do Ceará – *Campus* Mucambinho se apresenta como uma alternativa viável e financeiramente sustentável, contribuindo não apenas para a redução de custos, mas também para a promoção de práticas energéticas mais sustentáveis na instituição (DE CARVALHO *et al*., 2022).

Segundo Oliveira (2022) que analisou a viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede elétrica em uma edificação residencial no interior de São Paulo. Para isso, foram realizadas análises financeiras, incluindo *payback*, Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL), essenciais para avaliar a instalação. O orçamento considerou uma potência de 54.560 Watt-pico e um consumo médio mensal de 6.200 kWh. A análise, baseada em premissas de crescimento do consumo e depreciação dos equipamentos, demonstra que o investimento é viável, com retornos positivos, seja à vista (R$ 234.850,00) ou parcelado (R$ 359.825 em 5 anos).

As instituições de educação pública brasileiras sejam sustentáveis a longo prazo, é fundamental que sua expansão ocorra não apenas em termos quantitativos, mas, principalmente, qualitativos. Isso implica na necessidade premente de aprimorar a gestão orçamentária, buscando maior eficiência nos gastos do erário público (SILVA *et al*., 2012). Essa premissa, além de ser um princípio consagrado no direito administrativo (PEREIRA, 1996), tem sido amplamente discutida na literatura

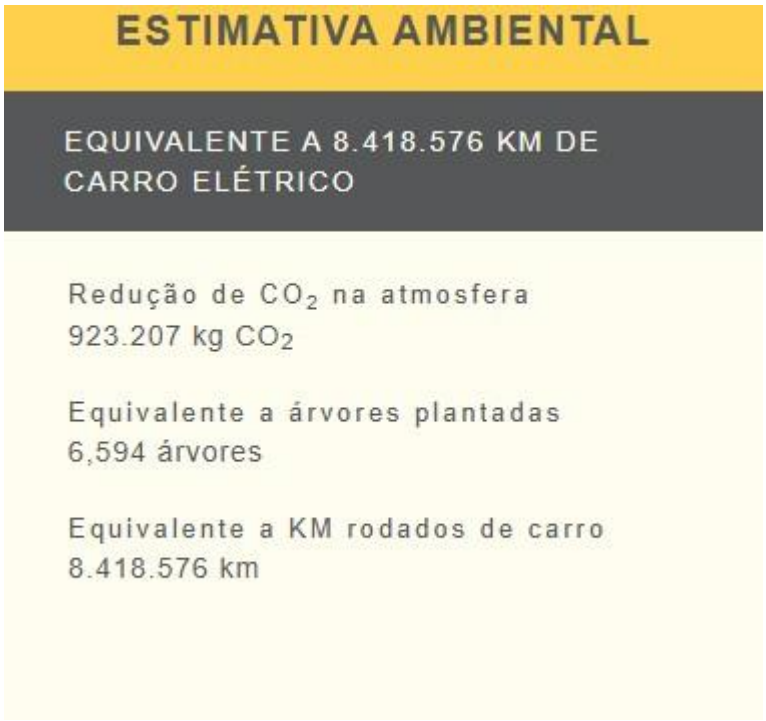
especializada em administração pública, especialmente no contexto da administração universitária (SAMPAIO; LANIADO, 2009).

Entretanto, ainda existem poucos estudos ou relatos que ofereçam insights valiosos para gestores e a comunidade em geral sobre práticas que promovam uma maior eficiência nos gastos públicos (PASCUCI *et al*., 2016; SILVA *et al*., 2012). Este estudo, portanto, aborda um dos principais itens de custeio das universidades públicas (após a folha de pagamento), que é a energia elétrica (PEREIRA; SANTOS, 2007).

Além da relevância do custo da energia elétrica no orçamento das universidades públicas, a demanda por esse recurso é um dos temas centrais na agenda de sustentabilidade da sociedade contemporânea (NERES; FERREIRA; SILVA JR., 2012). Essa situação é reflexo de uma matriz energética global ainda fortemente dependente de fontes fósseis, cujos impactos ambientais são significativos em todo o ciclo de vida desses recursos (GOTZ *et al*., 2016).

Conforme figura 26, abaixo do site Neosolar, a compra dos painéis pelo IFMG *Campus* Santa Luzia, estima a redução de emissão de CO_2 na atmosfera de 923.207 kg, que o equivale 6594 árvores sem serem cortadas.

Figura 26: Estimativa ambiental



Fonte: Site Neosolar, 2025.

Com a crescente preocupação em relação às mudanças climáticas e ao esgotamento dos recursos fósseis, instituições de ensino têm buscado alternativas

sustentáveis para reduzir sua pegada ambiental e economizar recursos financeiros. A implementação de sistemas fotovoltaicos se destaca como uma solução viável, não apenas para a geração de energia limpa, mas também como um exemplo de educação ambiental e responsabilidade social.

Os sistemas fotovoltaicos convertem a energia solar em eletricidade, oferecendo uma fonte renovável que pode atender às necessidades energéticas de escolas e universidades. Segundo a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2021), a adoção de energia solar pode reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação do aquecimento global. As instituições de ensino, ao adotarem essa tecnologia, não apenas diminuem sua dependência de combustíveis fósseis, mas também se posicionam como líderes em práticas sustentáveis.

Um estudo de Pérez-Higueras *et al*. (2019) destaca que a implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições de ensino pode resultar em economias substanciais nas contas de energia elétrica. Com a redução dos custos operacionais, as instituições podem redirecionar recursos para outras áreas, como infraestrutura, pesquisa e programas educacionais. Além disso, a energia gerada pode ser utilizada para atividades acadêmicas, promovendo uma cultura de sustentabilidade entre alunos e professores.

A utilização de energia fóssil, por outro lado, tem se mostrado insustentável a longo prazo. A queima de combustíveis fósseis é uma das principais responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO_2), um dos principais gases do efeito estufa. De acordo com Gotz *et al*. (2016), a transição para fontes de energia renováveis, como a solar, é essencial para reduzir as emissões de carbono e mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Instituições de ensino que investem em energia solar não apenas contribuem para a redução das emissões, mas também educam a próxima geração sobre a importância da sustentabilidade e da conservação ambiental.

Além das vantagens ambientais, o uso de sistemas fotovoltaicos em instituições de ensino também serve como uma ferramenta pedagógica. A instalação de painéis solares oferece uma oportunidade única para que alunos aprendam sobre energias renováveis, eficiência energética e a importância da conservação ambiental. Estudos mostram que a educação ambiental integrada ao currículo pode aumentar a

conscientização dos alunos sobre questões ecológicas e incentivá-los a adotar comportamentos sustentáveis (Silva *et al*., 2018).

Em suma, a implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições de ensino representa uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade e a economia. Ao reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de gases de efeito estufa, essas instituições não apenas se tornam exemplos de responsabilidade ambiental, mas também proporcionam uma educação valiosa para a formação de cidadãos conscientes e comprometidos com a preservação do planeta.

5 CONCLUSÃO

Quando se iniciou a proposta de analisar criticamente a eficiência energética e a viabilidade econômica na implementação das UFV 1 e UFV2 era importante para demonstrar o crescimento do uso de energias renováveis e se este uso e implementação pode ser considerado uma oportunidade viável de investimento para as empresas e indústrias.

Com objetivo geral de uma análise crítica da eficiência energética a partir dos valores de produção da usina fotovoltaica, e o uso das estratégias de viabilidade econômica para determinar se o investimento foi viável, atrativo e gera lucros.

O local escolhido para a instalação das UFV1 e UFV2 dispõe de uma boa radiação e não necessita de maiores manutenções, além das lavagens das placas e limpeza da área. As observações feitas do local mostram que a produção ocorre em todo tempo em que tenha luz solar, sem qualquer tipo de interferência de construções ou árvores.

O dado obtido por meio do *payback* simples é bem próximo ao tempo de 9 anos para o retorno do investimento.

A partir desse trabalho pode-se comprovar que o investimento na construção de uma usina solar fotovoltaica pode gerar além da economia mensal no consumo de energia, mas também uma oportunidade promissora de investimento a médio prazo.

As estratégias de viabilidade econômica têm papel primordial para definir as características para o comprovar esses dados. Os valores demonstrados na construção das usinas foram promissores para o *Campus*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Resolução Normativa Nº 482. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Brasil, 2012.

ANP - **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.** Produção nacional de gás natural, 2024.

Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos /Coordenador Chigueru Tiba. *et al*.- Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.111 p.: il., tab., mapas.

BLUESOL, (2016). **Os sistemas de energia solar fotovoltaica:** livro digital de introdução aos sistemas de energia solar fotovoltaica. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/419688413/BlueSol-Os-Sistemas-de-Energia-Solar-Fotovoltaica-Ronilson-Di-Souza. Acesso em agos 2024.

BONDARIK, Roberto; PILATTI, Luiz Alberto; HORST, Diogo José. **Uma visão geral sobre o potencial de energias renováveis no Brasil.** *Revista Interciência*, v. 43, n. 10, p. 680-688, outubro de 2018.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. Geração distribuída: ANEEL, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida. Acesso em 22 de agos. 2024.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Elétrica - UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

BONDARIK, Roberto; PILATTI, Luiz Alberto; HORST, Diogo José. **Uma visão geral sobre o potencial de energias renováveis no Brasil**. Revista Interciência. Vol. 43, Nº10, p. 680-688, outubro de 2018.

CAUS, Tauane Regina; MICHELS, Ademar. **Energia hidrelétrica: eficiência na geração.** Trabalho de Conclusão de Curso - Pós-graduação em eficiência energética aplicada aos processos produtivos. Universidade Federal de Santa Maria, Educação à distância da UFSM, Universidade aberta do Brasil, 2014.

COMETTA, Emilio. **Energia Solar: utilização e empregos práticos.** Tradução: Norberto de Paula Lima. São Paulo: Hemus Livraria Editora Limitada, 1978.

COSTA, A. F.; SILVA, R. M.; OLIVEIRA, J. P. **Análise da viabilidade econômica da energia solar na UNICAMP.** *Revista Brasileira de Energia*, v. 30, n. 1, p. 45-58, 2021.

ELETROBRÁS. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Transmiss%C3%A3o/Mapa%20Evolu%C3%A7%C3%A3oTransmiss%C3%A3o%20-%20Rede%20Basica%20-%20de%201960%20a%202018%20-%20INTERATIVO.pdf. Acesso em: set de 2024.

ELETRONUCLEAR. Disponível em: https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx. Acesso em: 01 de set. 2024.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2023. Acesso em set. 2024.

GAVIROSK, Jorge Dariano. **Carvão mineral e as energias renováveis no Brasil**. Tese Doutorado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 2007. 290 p.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **Global Wind Report 2022.** Disponível em: GWEC. Acesso em: fev. 2025.

GONÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, Ivan Pedro Salati de. **A energia nuclear**. Comissão Nacional de Energia Nuclear. CIÊNCIA HOJE, vol. 37, nº 220, pp. 36-44, outubro de 2005.

GOTZ, G. *et al*. (2016). "The role of renewable energy in reducing greenhouse gas emissions." *Renewable Energy*, v. 95, p. 1-10.

GREEN, M. A.; Emery, K.; Hishikawa, Y.; Warta, W.; Zou, J. **Solar cell efficiency tables (version 56).** *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 28, n. 1, p. 3-15, 2020.

IBP – **Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás**. Disponível em: https://www.ibp.org.br/. Acesso em jul de 2024.

IEA [International Energy Agency]. Energy End-uses and Efficiency Indicators. Disponível em: Acessado em jun. de 2024. IEA, 2023.

IRENA (Agência Internacional de Energia Renovável). **Renewable Power Generation Costs in 2021.** Disponível em: IRENA. Acesso em: fev. 2025.

KHATIWADA D, SEABRA J, SILVEIRA S, WALTER A. **Power generation from sugarcane biomass - A complementary option to hydroelectricity in Nepal and Brazil**. Energy 48: 241-254, 2012.

MAUAD, Frederico Fábio. **Energia renovável no Brasil: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras** / Frederico Fábio Mauad, Luciana da Costa Ferreira, Tatiana Costa Guimarães Trindade. São Carlos: EESC/USP, 2017. 349 p.

MARIANO, JACQUELINE BARBOZA. **Impactos Ambientais do Refino de Petróleo.** [Rio de Janeiro] 2001 VIII, 216 p. 29,7, (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2001) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

MARTINS, L. A.; OLIVEIRA, T. R. **Estudo de caso da energia solar no IFRS: impactos e resultados.** *Revista de Energias Renováveis*, v. 12, n. 2, p. 123-135, 2019.

MONIÉ, Frédéric; BINSZTOK, Jacob. **Geografia e geopolítica do petróleo.** Rio de Janeiro. Mauad X, 2012.

MONZONI, Mario [*et al*]. **Edificações sustentáveis e eficiência energética**. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 2017.

MOSQUEIRA, Glória Leite de. **A evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil.** Orientador: Carlos Buzzanelo 2020. 51 f. TCC (Graduação) – Curso de Administração Pública, Centro de Ciências Políticas e Jurídicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

OLIVEIRA, Jéssica Rayane Hernandez de. **Energia solar fotovoltaica.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v.9, n.03, mar. 2023.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **World Employment and Social Outlook 2021: Trends 2021.** Disponível em: OIT. Acesso em: fev. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Emissions Gap Report 2022.** Disponível em: ONU. Acesso em: fev. 2025.

PEREIRA, M. A.; LIMA, F. J. **Sustentabilidade e energia solar na UFPR: um estudo de caso.** *Revista de Sustentabilidade*, v. 8, n. 3, p. 78-90, 2021.

PÉREZ-HIGUERAS, P. *et al*. (2019). "Economic and environmental analysis of photovoltaic systems." *Renewable Energy*, v. 141, p. 110-121.

REIS, Humberto L. S. **Recursos minerais de Minas Gerais: gás natural.** Laboratório de Modelagem Tectônica Departamento de Geologia/Escola de Minas Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), 2018, 39 p.

SANTOS, Guilherme Henrique Fávero; NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Graziele Múcio. **Biomassa como energia renovável no Brasil.** ISSN online 2178-2571. V.29, n.2, pp.06-13 (Jan - Mar 2017).

SELLEY, R. C. 1998. **Elements of Petroleum Geology**, 2ª ed. San Diego, Academy Press, 470 p. ISBN: 13:9780126363708.

SILVA, J. R.; ALMEIDA, T. S.; SOUZA, R. F. **Economia de energia na UFSC: um estudo sobre a implementação de sistemas fotovoltaicos.** *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 15, n. 4, p. 200-215, 2020.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil:** dos incentivos aos desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, 2015.

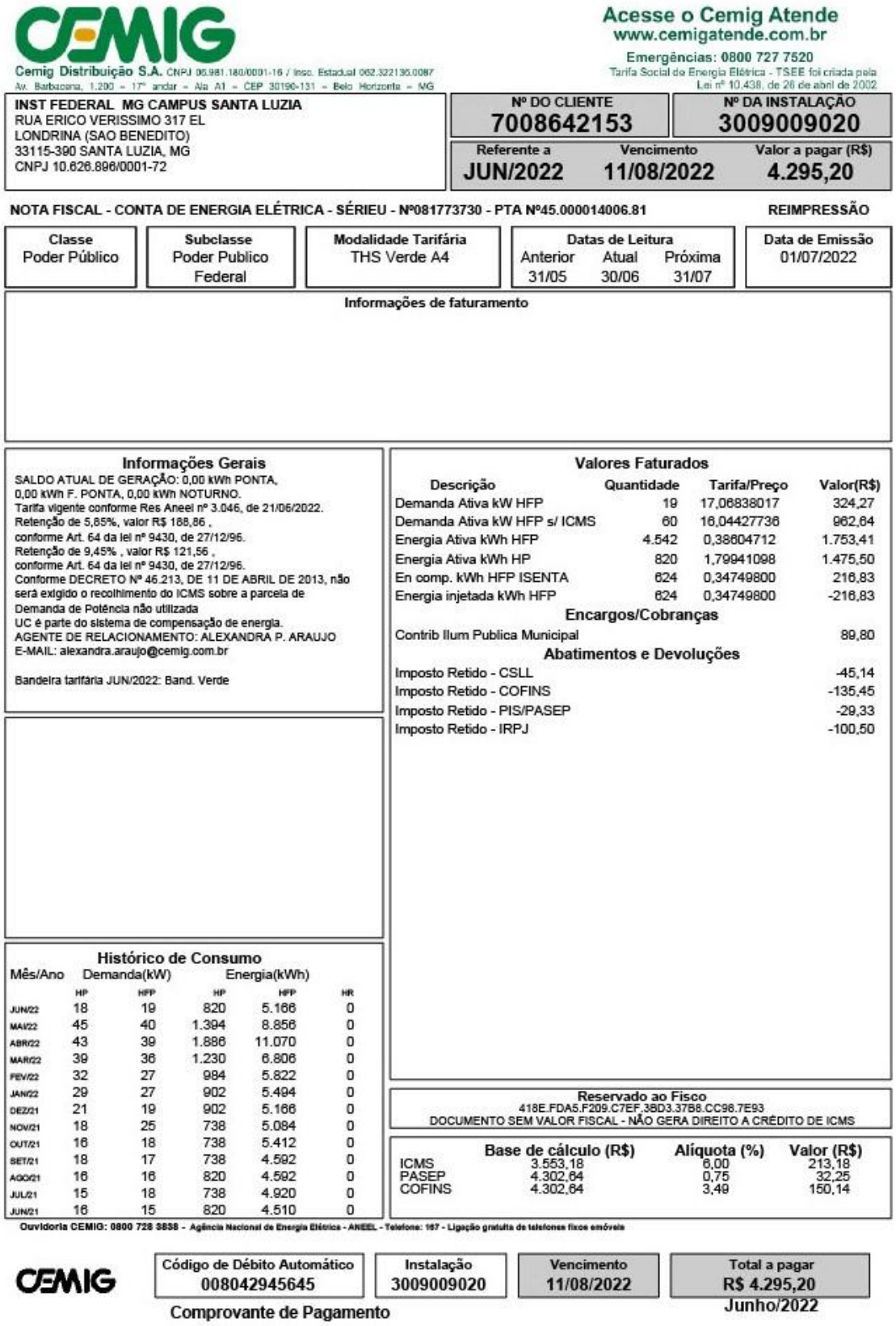
SILVA, W. M. *et al*. (2018). "Environmental education and its impact on sustainable practices in schools." *Journal of Environmental Education*, v. 49, n. 1, p. 1-15.

SILVEIRA, Arthur Garcia; SANTOS, David Ferreira Lopes; MONTORO, Stela Basso. **Potencial econômico da geração de energia elétrica por sistema fotovoltaico na universidade pública.** ISSN 2237-4558. Navus Florianópolis-SC. v. 9, n. 4, p. 49-65 out./dez. 2019.

VERGÍLIO, Karen Evelinne Perusso. **Geração distribuída e pequenas centrais hidrelétricas: alternativas para a geração de energia elétrica no Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo - SP, 2012.

ANEXOS

Fatura de enegia referente ao mês junho de 2022



CEMIG

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322135.0087
Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Acesse o Cemig Atende
www.cemigatende.com.br
Emergências: 0800 727 7520
Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

INST FEDERAL MG CAMPUS SANTA LUZIA
RUA ERICO VERISSIMO 317 EL
LONDRINA (SAO BENEDITO)
33115-390 SANTA LUZIA, MG
CNPJ 10.626.896/0001-72

Nº DO CLIENTE	Nº DA INSTALAÇÃO
7008642153	3009009020

Referente a	Vencimento	Valor a pagar (R$)
JUN/2022	11/08/2022	4.295,20

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIEU - Nº081773730 - PTA Nº45.000014006.81 REIMPRESSÃO

Classe	Subclasse	Modalidade Tarifária	Datas de Leitura			Data de Emissão
			Anterior	Atual	Próxima	
Poder Público	Poder Publico Federal	THS Verde A4	31/05	30/06	31/07	01/07/2022

Informações de faturamento

Informações Gerais

SALDO ATUAL DE GERAÇÃO: 0,00 kWh PONTA,
0,00 kWh F. PONTA, 0,00 kWh NOTURNO.
Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 3.046, de 21/06/2022.
Retenção de 5,85%, valor R$ 188,86 ,
conforme Art. 64 da lei nº 9430, de 27/12/96.
Retenção de 9,45% , valor R$ 121,56 ,
conforme Art. 64 da lei nº 9430, de 27/12/96.
Conforme DECRETO Nº 46.213, DE 11 DE ABRIL DE 2013, não será exigido o recolhimento do ICMS sobre a parcela de Demanda de Potência não utilizada
UC é parte do sistema de compensação de energia.
AGENTE DE RELACIONAMENTO: ALEXANDRA P. ARAUJO
E-MAIL: alexandra.araujo@cemig.com.br

Bandeira tarifária JUN/2022: Band. Verde

Valores Faturados

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R$)
Demanda Ativa kW HFP	19	17,06838017	324,27
Demanda Ativa kW HFP s/ ICMS	60	16,04427736	962,64
Energia Ativa kWh HFP	4.542	0,38604712	1.753,41
Energia Ativa kWh HP	820	1,79941098	1.475,50
En comp. kWh HFP ISENTA	624	0,34749800	216,83
Energia injetada kWh HFP	624	0,34749800	-216,83
Encargos/Cobranças			
Contrib Ilum Publica Municipal			89,80
Abatimentos e Devoluções			
Imposto Retido - CSLL			-45,14
Imposto Retido - COFINS			-135,45
Imposto Retido - PIS/PASEP			-29,33
Imposto Retido - IRPJ			-100,50

Histórico de Consumo

Mês/Ano	Demanda(kW)		Energia(kWh)		
	HP	HFP	HP	HFP	HR
JUN/22	18	19	820	5.166	0
MAI/22	45	40	1.394	8.856	0
ABR/22	43	39	1.886	11.070	0
MAR/22	39	36	1.230	6.806	0
FEV/22	32	27	984	5.822	0
JAN/22	29	27	902	5.494	0
DEZ/21	21	19	902	5.166	0
NOV/21	18	25	738	5.084	0
OUT/21	16	18	738	5.412	0
SET/21	18	17	738	4.592	0
AGO/21	16	16	820	4.592	0
JUL/21	15	18	738	4.920	0
JUN/21	16	15	820	4.510	0

Reservado ao Fisco
418E.FDA5.F209.C7EF.3BD3.37B8.CC98.7E93
DOCUMENTO SEM VALOR FISCAL - NÃO GERA DIREITO A CRÉDITO DE ICMS

	Base de cálculo (R$)	Alíquota (%)	Valor (R$)
ICMS	3.553,18	6,00	213,18
PASEP	4.302,64	0,75	32,25
COFINS	4.302,64	3,49	150,14

Ouvidoria CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos emóveis

CEMIG

Código de Débito Automático	Instalação	Vencimento	Total a pagar
008042945645	3009009020	11/08/2022	R$ 4.295,20

Comprovante de Pagamento

Junho/2022

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322136.0087
Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Acesse o Cemig Atende
www.cemigatende.com.br
Emergências: 0800 727 7520
Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

DEMONSTRATIVO DE GRANDEZAS FATURADAS

Nota Fiscal - Conta de Energia Elétrica - Série U - Nº 081773730 - PTA Nº 45.000014006.81

Cliente:	INST FEDERAL MG CAMPUS SANTA LUZIA			Unidade: SANTA LUZIA	
Instalação:	3009009020	Medidor:	GMI064000111	Período de Medição	01/06/2022 a 30/06/2022
Subgrupo:	A4	Local de Medição:		Mês/Ano:	06/2022
Modulação contratual/Horário de ponta:	às			Dias livres :	e

LEITURAS

Segmentos	HFP/único		HP		HR	
Grandezas	Leitura anterior	Leitura atual	Leitura anterior	Leitura atual	Leitura anterior	Leitura atual
kW		24		22		0
kWh	2.445	2.508	435	445	0	0
kWh Injet.	377	385	0	0	0	0
kVArh	205	205	36	36	0	0
UFER	2	2	0	0	0	0
DMCR		19		20		0

DEMANDA(kW)

Segmento	Produto	Registrado	Acerto Reg.	Data/Hora	Acerto Fat.	Contratado	Faturado ultrapass.	Faturado normal
HFP/Único	Demanda ativa	19				79		79
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFDR							
	DMCR	15						
HP	Demanda ativa	18						
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFDR							
	DMCR	16						
HR	Demanda ativa							
	Demanda reativa - UFDR							
	DMCR							

ENERGIA (kWh)

Segmento	Produto	Registrado	Acerto reg.	Contratado	Take	Acerto Fat.	Faturado ultrapass.	Faturado normal
HFP/Único	Energia ativa	5.040						5.166
	Energia Injetada	640						624
	Energia reativa - UFER							
	kVArh							
HP	Energia ativa	800						820
	Energia Injetada							
	Energia reativa- UFER							
	kVArh							
HR	Energia ativa							
	Energia Injetada							
	Energia reativa - UFER							
	kVArh							

FATORES

Segmento	Fator de carga	Fator de potência
HFP	0,414	
HP	0,723	
HR		

CONSTANTES

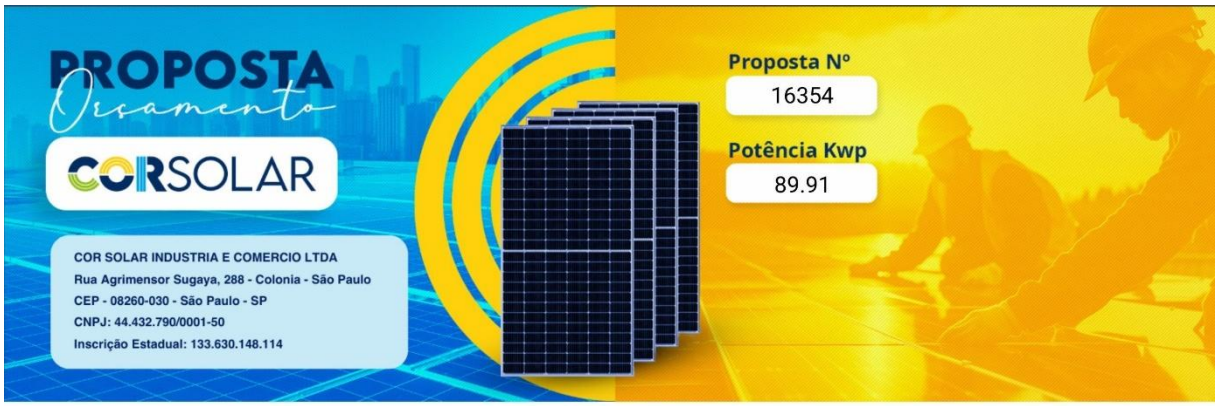
RTC	80
RTP	
kW	80
kWh	80
Perdas Transf.	2,5
Medidor	1,0

Notas:
Aos valores registrados deverão ser acrescidos 2,5 % de perdas de transformação.
Aos valores registrados de energia injetada deverão ser deduzidos 2,5 % de perdas de transformação.

Tarifa resolução homologatória Aneel (sem impostos):

Dem. At. kW HFP	15.364
Dem. At. kW HFP s/ ICMS	15.364
En. At. kWh HFP	0.347498
En. At. kWh HP	1.619729

Orçamento Corsolar



INFORMAÇÕES DO COMPRADOR

RAZÃO SOCIAL/NOME	VRA ENGENHARIA	TELEFONE	-	INSCRIÇÃO ESTADUAL	-
ENDEREÇO	-	EMAIL	-	CNPJ/CPF	49481198000161
MUNICIPIO/ESTADO	-	SOLICITANTE	-		
		CEP	-		

REPRESENTANTE / ATENDENTE

REPRESENTANTE	MATHEUS OLIVEIRA REIS - MATHEUS.REIS@VRAENERGIA.COM	ATENDENTE	MATHEUS OLIVEIRA REIS
TELEFONE	(11) 2227-5000	TELEFONE	(11) 2227-5000

DESCRIÇÃO DA MERCADORIA

ITEM	UNID.	CÓDIGO PRODUTO	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
1		50809A9COR75220	Inversor 75 kW, 75K-LV-5G-PRO TRIF. 220V - CORDEIRO-SOLIS	1
2		50849A900PR6100	CB CORTOX SOLAR FLEX 1,8KVCC C5 NBL 1X6,00 PR - ROLO 100M (UN)	5
3		50849A900VR6100	CB CORTOX SOLAR FLEX 1,8KVCC C5 NBL 1X6,00 VM - ROLO 100M (UN)	5
4		50829A9BEL00064	SOLO LINHA DUPLA MESA 04 MOD ISOP-45 1135MM - BELLE	2
5		50829A9BEL00068	SOLO LINHA DUPLA MESA 08 MOD ISOP-45 1135MM - BELLE	2
6		50829A9BEL00620	SOLO LINHA DUPLA MESA 20 MOD ISOP-45 1135MM - BELLE	7
7		50839A93S600VDC	STRING BOX 3E - 3S 1040VDC - CLAMPER	4
8		50859A9HELIU55500	Módulo 555 Wp, HMF144M10-555H - HELIUS	162
9		50869A9POSITIVO	CONECTOR SOLAR MC4 POSITIVO	40
10		50869A9NEGATIVO	CONECTOR SOLAR MC4 NEGATIVO	40

LAYOUT DOS MÓDULOS

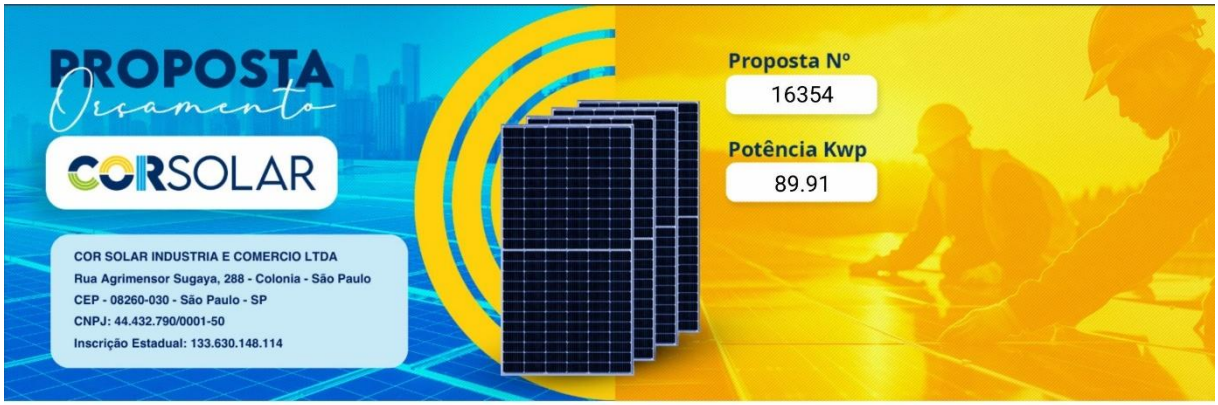
Arranjo 1	Linhas: 1 Módulos: 162 Direção: vertical

INFORMAÇÕES FISCAIS

Total Geral	R$ 140.827,71

CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO

Frete	-	Local de Destino	-
Validade da proposta	-	Condição de Pagamento	
Tipo de venda	Orçamento	Data de entrega.	-
Observações	-		



OBSERVAÇÕES

- A) IMPORTANTE: As condições comerciais dessa proposta são validas dentro do prazo de 3 dias a contar de sua emissão. No ato da liberação dos FINANCIAMENTOS em que esteja fora da validade, a CORSOLAR se reserva o direito de revalidar as condições comerciais.
- B) IMPORTANTE: As condições comerciais desta proposta estão considerando o cenário Tributário e Fiscal atual. Caso haja alguma alteração antes da nacionalização dos produtos importados que impacte no valor do equipamento, com o aceite da Proposta, o Cliente está de acordo em arcar com possíveis aumentos de custos de impostos.
- C) Não nos responsabilizamos pela contratação/fornecimento de equipamentos especiais para descarregamento da mercadoria no destino, cabendo ao cliente esta responsabilidade.
- D) No ato do recebimento dos materiais, o COMPRADOR/INTEGRADOR deverá conferir os produtos que estão sendo entregues. Quaisquer divergências ou demais questões deverão ser comunicadas imediatamente a CORSOLAR, antes da assinatura da NOTA FISCAL e recebimento da mesma, sendo obrigatório a realização da ressalva do ocorrido na NOTA FISCAL, devendo conter NOME completo e RG da pessoa que está relatando a ocorrência. Após a assinatura e aceite da mercadoria, NÃO SERÃO ACEITAS RECLAMAÇÕES POSTERIORES À ENTREGA. A CORSOLAR não se responsabilizará por qualquer avaria ou falta de material, que não tenha sido notificado no ato da entrega. Nos casos de entrega de Pallet fechado que não possibilite a conferência no ato da entrega e que seja observado irregularidades quando da abertura das embalagens, o Cliente/Integrador deverá registrar imediatamente com vídeo os produtos danificados e enviar ao vendedor da Corsolar para iniciar o processo de reposição.
- E) O aceite do Pedido estará condicionado à aprovação de crédito pela Corsolar, inclusive no momento do faturamento. A Corsolar se reserva o direito de em até 5(cinco) dias úteis do recebimento da Ordem de Compra, recusá-la total ou parcialmente, desde que apresente divergências em relação a esta proposta.
- F) Compradora está ciente que o atraso no pagamento de quaisquer valores implicará na cobrança de multa não compensatória desde já estipulada em 5% (cinco por cento) sobre o valor do débito, bem como de juros moratórios calculados à razão da taxa SELIC acrecida de 6% de juros ao ano, incidindo sobre todo o montante em atraso, sendo o prazo contado da data do inadimplemento até a data do efetivo pagamento pela Compradora.
- G) Todos os impostos, referente ao escopo desta proposta, estão inclusos com as alíquotas vigentes na data da assinatura do Contrato ou emissão da Ordem de Compra. Tabela de preços considerando: ICMS de 0% incluso e PIS/COFINS de 9,25% incluso. Caso haja modificações na legislação tributária dos equipamentos fotovoltaicos, a Corsolar se reserva o direito de rever as condições comerciais dessa proposta.
- H) Garantias: para os equipamentos aplicados no produto adquirido, a garantia desde quipamento ficará atrelada ao período ofertado pelos respectivos fabricantes (Módulos: 12 anos, estruturas metálicas: 12 anos, inversores 10 anos, demais equipamento: 5 anos. Tal garantia está intrinsicamente ligado ao uso adequado dos produtos fornecidos respeitando na integra as orientações técnicas de manuseio e instalação.
- I) As partes acordam em nenhuma hipótese serão responsáveis, uma perante a outra, por eventuais danos indiretos ou consequenciais, tais como lucros cessantes, perdas de receita, perdas de produção, penalizações pelos órgãos outorgantes (ANEEL,NOS,MME, etc) ou outros danos correlatos/assemelhados, ficando o limitada a obrigação contratual no máximo a 20% (vinte por cento) do valor total do Contrato a ser firmado.
- J) Os Pedidos serão processados preferencialmente como VENDA DIRETA com emissão de Boleto com vencimento acordado entre as partes. Caso haja necessidade de emissão de outro tipo de VENDA (exemplo: VENDA PARA ENTREGA FUTURA ou VENDA A ORDEM), o Cliente deverá justificar essa necessidade. Caso haja cancelamento do Pedido de Compra, após 24 horas da emissão das Notas Fiscais, o Cliente será responsável em dar a recusa da NF no Sefaz se for Pessoa Jurídica e se for Pessoa Física, irá assinar uma declaração de Recusa da NF.
- K) A CorSolar se responsabiliza pelo descarregamento somente para kits fotovoltaicos até 10 kwp. Kits com potências maiores de 10 kwp, o descarregamento é de inteira responsabilidade do Integrador/Cliente final. Caso haja necessidade de contratação de pessoas ou equipamentos para descarregamento, a Corsolar poderá apresentar uma proposta para este serviço que deverá ser validada pelo Integrador e ou Cliente final.

Condições especiais

(**) Validade da proposta conforme informado em dias corridos ou enquanto durarem os estoques.

Os preços dos produtos foram calculados conforme a variação cambial da semana anterior a data da oferta, podendo ser alterados a qualquer momento sem aviso prévio.

Local e data	São Paulo	06/01/2025

De acordo

CO	COR SOLAR INDUSTRIA E COMERCIO LTDA

Orçamento NEOSOLAR

INVESTIMENTO

De R$ 262.542,30 a R$ 350.056,40

Estimativa de investimento
De R$ 262.542,30 a R$ 350.056,40

Economia mensal
R$ 4.241,50

Economia total acumulada em 30 anos
R$ 4.643.681,33

VER GRÁFICO

SISTEMA INDICADO

43,76 kWp

Tamanho do Sistema
43,76 kWp

Número de Módulos
159 módulos

Produção anual estimada
64.428 KWh

Área necessária
306,30 m^2

Peso estimado
4.156,92 kg