



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental



Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Thais Sales Freitas

ANÁLISE DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ON-GRID PARA UM PRÉDIO RESIDENCIAL EM UM CENTRO URBANO NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Ouro Preto

2022

**Análise da geração de energia fotovoltaica on-grid para um prédio residencial
em um centro urbano no estado de Minas Gerais**

Thais Sales Freitas

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenharia Ambiental na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 21/03/2022

Área de concentração: Ciências Exatas e da Terra / Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dra. Marina de Medeiros Machado

Ouro Preto

2022



FOLHA DE APROVAÇÃO

Thais Sales Freitas

Análise da geração de energia fotovoltaica on-grid para um prédio residencial em um centro urbano no estado de Minas Gerais

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

Aprovada em 21 de março de 2022.

Membros da banca

Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Sandra Aparecida Lima de Moura - Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Daniela Antunes Lessa - Universidade Federal de Ouro Preto

[Marina de Medeiros Machado], orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 08/04/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Marina de Medeiros Machado, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/06/2023, às 15:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0549590** e o código CRC **F6B793D3**.

*“O correr da vida embrulha tudo.
A vida é assim: esquenta e esfria,
aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta.
O que ela quer da gente é coragem”*
Guimarães Rosa

AGRADECIMENTOS

Encerrar um ciclo é sempre muito gratificante. Começamos uma caminhada, tropeçamos, caímos, levantamos, seguimos andando até chegar ao nosso destino. E quando chegamos ao lugar que almejamos, olhamos para trás e vemos todos aqueles que estavam ali, em todas as horas.

Agradeço primeiramente a Deus e a mim mesmo. Ao meu Deus porque sem Ele eu não conseguiria nada, sem seu amor incondicional e o seu cuidado para com minha vida eu não conseguiria alcançar meus sonhos. A mim mesmo porque são a minha força de vontade e minha dedicação que me levam aonde eu quero chegar.

A minha mãe, agradeço por ter me incentivado desde criança a sempre estudar e por ter me ensinado a me dedicar e dar o meu melhor em tudo que faço. Por ter abdicado de inúmeras coisas por mim, por ter trabalhado exaustivamente para que eu pudesse ter educação de qualidade e por nunca ter me deixado desistir. Essa conclusão de fase é muito mais sua que minha, mãe.

Ao meu pai (in memoriam), que foi meu maior incentivador para que eu ingressasse em uma universidade. Eu sei que você estaria muito feliz com essa vitória nossa.

A minha família, agradeço pelo apoio, por me incentivarem e pela euforia diante minhas conquistas. Em especial a minha tia Gil, por me estender a mão em todas as horas que preciso e pelo seu apoio para que eu conseguir realizar todos meus sonhos.

Agradeço a todos os meus amigos, pelos momentos de estudos, pelas festas, pelas incontáveis histórias que vou levar para sempre nas minhas memórias. Em especial agradeço aos meus amigos de vida Débora, Manuela, Lhays, Lanna, Bruna, Lua, Raphaela, Marco Aurélio, Rainer, Luan, Neill, Higor e os demais que estão comigo sempre. Aos amigos que a vida acadêmica me deu, meu muito obrigada a Roxane, Thayna, Vitoria, Kamilla, Camila, Verônica, Ana Paula, Lila, Thaina, Manoela, Murilo, João, Patrick, Kaique, Marcelo, Lucas, Hollaender, André, Micael e aos demais amigos valiosos que a vida acadêmica me presenteou. E um agradecimento especial ao meu amigo e irmão de vida Gustavo, que esteve comigo desde a primeira semana da faculdade e vai estar sempre na minha vida, compartilhando risadas, choros e momentos valiosos.

Um muito obrigado a minha orientadora Marina, uma mulher gentil, educada, inteligente, competente que teve toda paciência e dedicou seu tempo e seu conhecimento em prol do meu trabalho. Obrigada por ter topado esse desafio comigo.

Tive o prazer de passar por duas universidades federais de renomes, UTFPR e UFOP. Agradeço ambas por terem me proporcionado um ensino gratuito de qualidade onde me desenvolvi como ser humano e como profissional. A todos aos que tive o prazer de chamar de professores que compartilharam comigo os seus vastos conhecimentos. Aos projetos de extensão que tive a honra de fazer parte e as outras oportunidades que tive acesso durante minha graduação.

Com os olhos cheios de lagrimas, um filme passa em minha cabeça agora relembrando cada momento deste ciclo cheio de desafios. Sou grata a tudo que me aconteceu durante este percurso, desde as amizades aos ensinamentos que recebi. Meu muito obrigada.

RESUMO

Com o aumento do consumo de energia elétrica, a dependência hídrica e as problemáticas que esse cenário traz tornou-se importante a avaliação da inserção de novas fontes renováveis na matriz energética brasileira. Dessa maneira, o presente trabalho buscou analisar se o uso de energia solar fotovoltaica *on-grid* em um edifício residencial localizado em um centro urbano, no estado de Minas Gerais, seria viável tecnicamente, economicamente e ambientalmente para suprir a demanda de eletricidade das áreas comuns do residencial. As análises foram realizadas a partir de um dimensionamento solar fotovoltaico para a área do telhado do condomínio. Foram utilizados cálculos matemáticos para dimensionar o projeto. Em seguida, foram usadas variáveis financeiras para estudar a rentabilidade do investimento do sistema e fotovoltaico e, por fim, com base nos dados do dimensionamento, pôde-se estipular as emissões de CO₂ do projeto. Os resultados obtidos demonstraram a necessidade de 13 módulos fotovoltaicos ligados em série e uma área de 31,01 m² para a instalação do sistema, sendo que essa configuração atende à demanda do edifício e produz mensalmente 888,9 kWh, valor que atende à demanda de energia elétrica das áreas comuns do condomínio. A viabilidade financeira foi positiva analisando a economia que esta traria ao condomínio, o resultado acumulado ao longo dos 25 anos de vida útil do projeto, comparando a outros investimentos de renda fixa nacional, o projeto se mostrou viável. Em relação à análise ambiental, levou-se em consideração o baixo conhecimento sobre impactos ambientais desta fonte e a falta de licenciamento ambiental para empreendimentos deste tipo, quanto a emissão de CO₂, os resultados apontaram para uma redução de emissão considerável por ano de CO₂. O trabalho sinaliza uma viabilidade positiva nos três quesitos analisados, e que o Brasil possui um grande potencial de gerar energia solar, entretanto precisa investir em pesquisas de desenvolvimento para essa tecnologia em território nacional. Ainda, foi observado o quão importante, viável e inovador é o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis em áreas urbanas.

Palavras-chaves: Energia Renovável. Energia Fotovoltaica. *On-grid*. Prédio residencial. Análise técnica e Econômica.

ABSTRACT

The growing up of energy consumption and the dependency on water resources and all problems with this, the use of renewable energy is attractive. In Brazil, renewable energy is being introduced on the energy matrix. Therefore, the present paper research did an analysis of the use of solar photovoltaic on grid for a residential building in an urban center is technical in and economic viable. The analysis was doing using from a photovoltaic solar dimensioning for the condominium's roof area. Mathematical calculations were used to scale the project, after financial variables were used to study the profitability of system investment and photovoltaic, finally, through the dimensioning data it is possible to stipulate the CO₂ emissions of this project. The results show for the dimensioning were that it, is necessary 13 photovoltaic modules connected in series and an area of 31,01 m² for the installation of the system, this configuration meets the demand pf the residential and produces monthly 888,9 kWh value that meets the electricity demand of the common areas of the condominium. The financial viability was positive by analyzing the economy that this would bring to the condominium, the amount accumulated economy during the 25 years of the project's useful life and comparing to other national fixed income investments the project proved viable. In relation to the environmental analysis, the low knowledge on the environmental impacts of this source and the lack of environmental licensing for such undertakings regarding CO₂ emissions considerable per year for CO₂ atmosphere. The conclusion found for the present study is the positive viability in the three questions analyzed, that Brazil has a great potential to generate solar energy, however it needs to invest in development research for the technology in the national territory and how important, viable and innovative is the development of sustainable technologies in urban areas.

Keywords: Renewable Energy. Solar Photovoltaic. *On-grid*. Urban Building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Elétrica Mundial de 2020.	21
Figura 2 - Matriz Energética Brasileira.....	23
Figura 3 – Expansão de Usinas Solares Fotovoltaicas no Brasil.	24
Figura 4 - Efeito Fotovoltaico.	25
Figura 5 - Ligação <i>On-Grid</i>	29
Figura 6 – Sistema Off Grid.	31
Figura 7 - Evolução de Conexões de GD.	34
Figura 8 Acesso à Rede de Distribuição.....	36
Figura 9 - Potencial de Energia Fotovoltaica no Brasil.	38
Figura 10 - Irradiação Território Brasileiro.	39
Figura 11 - Radiação em Minas Gerais.	41
Figura 12 - Emissão de CO ₂ Per Capita (t/CO ₂ -eq/hab).	46
Figura 13 - Emissão de CO ₂ por Setor (Mt/CO ₂ -eq/hab).....	46
Figura 14 - Escola Municipal Almirante Tamandaré.....	49
Figura 15 - Usina Solar Fotovoltaica Mineirão.....	50
Figura 16 - Postes com Iluminação Solar.....	51
Figura 17 - Bairro Solar na Alemanha.	52
Figura 18 - <i>Solar Road</i>	53
Figura 19 - Vista de cima do Salão Paulo VI.	54
Figura 20 - Diagrama que Esquematiza Possíveis Utilização da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Telhados Urbanos e de Veículos Elétricos.	55
Figura 21 – Etapas da Metodologia.....	59
Figura 22 – Localização do município de Belo Horizonte.....	60
Figura 23 – Prédio Residencial em estudo.....	61

Figura 24 – Cobertura do Prédio Residencial.....	61
Figura 25 – Consumo de Energia Elétrica.....	73
Figura 27 – Possível Configuração do SFV.....	81
Figura 28 – Mapa Geométrico Região Centro Oeste e Sudeste.	83
Figura 29 – Fluxo de Caixa vs. VPL.	87
Figura 30 – Rendimento Poupança.	89
Figura 31 – Investimento Inicial, Imposto de Renda e Juros no CDB.	91
Figura 32 – Rendimento Tesouro Direto.....	93
Figura 33 – Gráfico Fases de Vida da Produção de Placa Fotovoltaica.	96
Figura 34 – Potencial Região Sudeste em 2016.	98
Figura 35 – Evolução da inserção na Região Sudeste, em sentido horário, em relação aos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020.....	99
Figura 36 – Fluxo de caixa.....	100
Figura 37 – Rentabilidade Energia Solar, Poupança, CDB e TD.	101
Figura 38 – Gráfico apresentando o crescimento do uso em publicações, via Web of Science, dos termos relacionados ao tema da pesquisa.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características células fotovoltaicas.....	26
Tabela 2 - Geração Distribuída.....	33
Tabela 3 - Estados com Incentivos.....	35
Tabela 4 - Maiores Usinas Fotovoltaicas Brasileiras.....	42
Tabela 5 - Bandeiras Tarifárias.....	43
Tabela 6 - Consumo e Preço da Energia Elétrica Consumida.....	62
Tabela 7 - Dados irradiações.....	63
Tabela 8 - Módulos Solares Fotovoltaicos.....	63
Tabela 9 - Indicador Painel Solar.....	75
Tabela 10 - Características técnicas do Painel Solar Fotovoltaico CS3U-355P.....	76
Tabela 11- Características técnicas do inversor modelo CSI-5K-MTT.....	77
Tabela 12 - Configurações do projeto fotovoltaico.....	78
Tabela 13 - Energia gerada diariamente.....	80
Tabela 14 - Orçamento Projeto Fotovoltaica.....	84
Tabela 15 - Análise Econômica do SFV.....	85
Tabela 16 - Viabilidade Econômica.....	86
Tabela 17 - Simulação Investimento Poupança.....	88
Tabela 18 - Simulação Investimento CDB.....	90
Tabela 19 - Simulação Investimento Tesouro Direto.....	92
Tabela 20 – Emissão de CO ₂	94
Tabela 21 - Países e suas pegadas de CO ₂ , Energia Consumida e CO ₂ gerado pela fabricação de placa fotovoltaica.....	95
Tabela 22 - Desenvolvimento do uso em publicações, via Web of Science, dos termos relacionados ao tema da pesquisa.....	104

LISTA DE SIGLAS

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

ACV – Análise do Ciclo de Vida

ANEEL – Agência Nacional Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CDB – Certificado de Depósito Bancário

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

c-Si – silício cristalino

DOE – *Department of Energy*

DPS – Dispositivo de Proteção Contra Surtos

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FDI – Fator de Dimensionamento do Inversor

GD – Geração Distribuída

HOMER - *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IEA – *International Energy Agency*

INME – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

IRENA – *International Renewable Energy Agency*

LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

m-Si – Monocristalino

NREL - *National Renewable Energy Laboratory*

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas

p-Si – policristalino

UC – Unidade Consumidora

SIN - Sistema Interligado Nacional

SFV – Sistema Fotovoltaico

SONDA – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais

SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment*

TD – Tesouro Direto

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	OBJETIVO GERAL.....	19
1.1.1	Objetivos Específicos.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	CENÁRIO ENERGÉTICO.....	20
2.1.1	Cenário Energético Mundial.....	20
2.1.2	Cenário Energético Brasileiro	22
2.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	24
2.2.1	Efeito Fotovoltaico	24
2.2.2	Células Fotovoltaicas.....	26
2.2.3	Inversores	27
2.2.4	Conexão na Rede Elétrica (Sistemas <i>On-Grid</i>).....	28
2.2.5	Conexão Isolada (Sistemas <i>Off Grid</i>)	30
2.2.6	Geração Distribuída	31
2.3	POTENCIAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	37
2.3.1	Irradiação	39
2.3.2	Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica Em Minas Gerais ..	40
2.4	CENÁRIO BRASILEIRO.....	41
2.4.1	Regulamentação Tarifária Brasileira.....	43
2.5	ENERGIA FOTOVOLTAICA NOS CENTROS URBANOS.....	44
2.6	EMISSÕES	45
2.7	IMPACTOS AMBIENTAIS	47
2.8	ENERGIA SOLAR NO MEIO URBANO	48

2.9	VIABILIDADE ECONÔMICA	56
2.9.1	Valor Presente Líquido	56
2.9.2	Taxa Interna de Retorno	56
2.9.3	<i>Payback</i>	57
3	MATERIAIS E MÉTODOS	58
3.1	LOCAL DE ESTUDO	60
3.2	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	62
3.2.1	Levantamento de Dados.....	62
3.2.2	Caracterização dos módulos fotovoltaicos e inversores.....	63
3.2.3	Parâmetros de dimensionamento do sistema fotovoltaico	65
3.3	VIABILIDADE ECONÔMICA	69
3.4	ANÁLISE DE EMISSÃO DE CO ₂	71
3.5	ANÁLISE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA <i>ON-GRID</i> EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL LOCALIZADO EM UM CENTRO URBANO NO ESTADO DE MINAS GERAIS	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
4.1	DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL	73
4.2	ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O USO DE SISTEMAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	82
4.3	ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CO ₂	94
4.4	ANÁLISE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA <i>ON-GRID</i> EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL LOCALIZADO EM UM CENTRO URBANO NO ESTADO DE MINAS GERAIS	98
5	CONCLUSÃO	109
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
----------------------------------	-----

1 INTRODUÇÃO

A humanidade sempre esteve ligada intrinsecamente com o controle de numerosas fontes de energia e o poder de transformá-la em um instrumento de grande valor para ao meio social (OLADE, 2017). Nas origens da história, há registros do uso do sol para obtenção de calor e com a descoberta do fogo, o *Homo sapiens* começou a fazer o uso de energia, aquecer-se, preparar alimentos e fazer uma série de atividades. Logo começaram os avanços tecnológicos derivados das transformações de energia (DE ABREU, 2020).

Na modernidade a energia é um insumo essencial. Substancial para indústrias, aos meios de locomoção e também está na rotina dos seres humanos. A economia, se baseia nos índices de produção de energia, de maneira que o indicador de consumo de energia per capita determina o nível de desenvolvimento dos países (KREL e SOUZA, 2020). O aumento da demanda de energia é um comportamento percebido em todo o mundo, inclusive no Brasil (SÁ FREIRE, 2020).

No ano de 2020, a oferta interna de energias não renováveis no Brasil atingiu 287.6 Mtep (milhões de toneladas equivalente de petróleo) (BEN, 2021). O que significa uma queda de cerca de 2,2% em relação ao ano de 2019, essa diminuição é justificada pelo avanço e incremento de fontes de energias renováveis como eólica e solar na matriz energética brasileira (BEN, 2021). Pelo alto custo, a energia solar não era defendida para se investir, porém, esse cenário está em transição e a energia solar fotovoltaica vem ganhando destaque e competitividade econômica em relação a outras fontes (NAKABAYASHI, 2014). Segundo BEN (2021), em 2020 a geração de energia solar atingiu 10.7 TWh (terawatt-hora), o que representa um aumento de 61,5% em relação ao ano anterior. A utilização de energias renováveis na matriz energética atingiu a participação de 84,8% em 2020 (BEN, 2021).

A dependência hídrica para a geração de energia elétrica no Brasil é um problema devido às crises hídricas que o país vem se deparando, pois, quando há estiagem, os reservatórios podem atingir um nível muito baixo ameaçando o fornecimento de energia e elevando os custos desta (SOUZA, 2019). O Brasil possui dimensões continentais e sua localização geográfica e seu clima favorecem a geração de

energias renováveis como a solar. A disponibilidade e a variabilidade da incidência solar estão associadas às condições de tempo e clima da região (LABREN , 2017)

A atenção quanto à segurança energética e às transformações climáticas, incentivam pesquisas e estudos para aproveitamento de fontes de energia sustentável, em todas as esferas sociais. A geração e consumo de fontes limpas, a partir de reservas nacionais, diminui a dependência de combustíveis fósseis e, no caso brasileiro, de hidrelétricas, causando assim uma certa segurança energética (KREL e SOUZA, 2020).

Mesmo que os sistemas fotovoltaicos possuam um alto custo, incentivos governamentais na isenção de impostos, junto com o aumento do custo da energia elétrica nos últimos anos tornaram essa tecnologia mais viável no Brasil (BUDEL, 2017). Além das vantagens econômicas, as tecnologias energéticas estão unidas em países desenvolvidos para enfrentar problemas como o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera terrestre (ZOMER, 2010).

Para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), programa criado pela Organização das Nações Unidas (ONU), a energia é um instrumento essencial para grande parte das atividades humanas e o desenvolvimento sustentável precisa de medidas energéticas acessíveis, modernas e viáveis. No que tange planejamento energético, o setor residencial possui uma grande importância. Qualquer política que visa a otimização do uso de energia deve contar com as classes consumidoras residenciais (SCARI, 2011). O setor residencial no Brasil representa 10,8% do consumo de energia elétrica nacional (BEN , 2021).

Com os novos caminhos que a geração elétrica vem trilhando e a inserção da energia solar na matriz energética, o presente trabalho, tem por objetivo analisar a forma técnica e econômica de prédio residencial no centro urbano na cidade de Belo Horizontes – Minas Gerais, através de estudo de caso. Segundo ZOMER (2010), a demonstração de resultados da inserção de um gerador fotovoltaico em centros urbanos é muito importante para a avaliação das vantagens e desvantagens que o sistema poderia ter.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é analisar a viabilidade para o uso de energia fotovoltaica *on-grid* em um edifício residencial localizado no centro urbano da cidade de Belo Horizonte no estado de Minas Gerais, que supra o consumo de energia elétrica proveniente da concessionária local de energia elétrica.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Dimensionar um sistema fotovoltaico para um edifício residencial;
- Estudar a viabilidade econômica para o uso de sistemas de painéis fotovoltaicos em residenciais;
- Analisar a emissão de CO₂ emitida pelo sistema fotovoltaico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CENÁRIO ENERGÉTICO

Desde o início da humanidade o uso da energia ocupa um papel ímpar na história da evolução da espécie. A demanda por energia elétrica vem crescendo desde a Revolução Industrial em que os hábitos da humanidade foram se transformando e a economia ficou diretamente dependente de fontes energéticas (SÁ FREIRE, 2020).

O crescimento demográfico e econômico é diretamente ligado a preocupações ambientais, já que as fontes energéticas são extraídas de recursos naturais. Logo, para acompanhar os ritmos de crescimento é necessário que haja preocupações com a capacidade de renovação dos recursos (DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015). Diante da necessidade de medidas sustentáveis, como mitigação de impactos causados por fontes de energia não renováveis, controle de poluentes e descarte adequado a resíduos sólidos e gasosos, o mercado global tende a se posicionar em relação aos recursos energéticos de baixo impacto ambiental e econômico (TOLMASQUIM, GERREIRO e GORINI, 2007).

Para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), matriz energética são todos os recursos disponíveis de um determinado lugar que suprem as necessidades de energia deste. Tal representatividade histórica para o desenvolvimento humano, economia e meio ambiente a matriz energética vem ganhando um destaque cada vez maior diante sua importância.

2.1.1 Cenário Energético Mundial

O cenário energético mundial apresenta uma demanda crescente pelo uso de energias renováveis, mesmo com as fontes não renováveis em predomínio, ocupando um percentual de 64% na matriz energética mundial (EPE, 2021), como mostra a Figura 1.

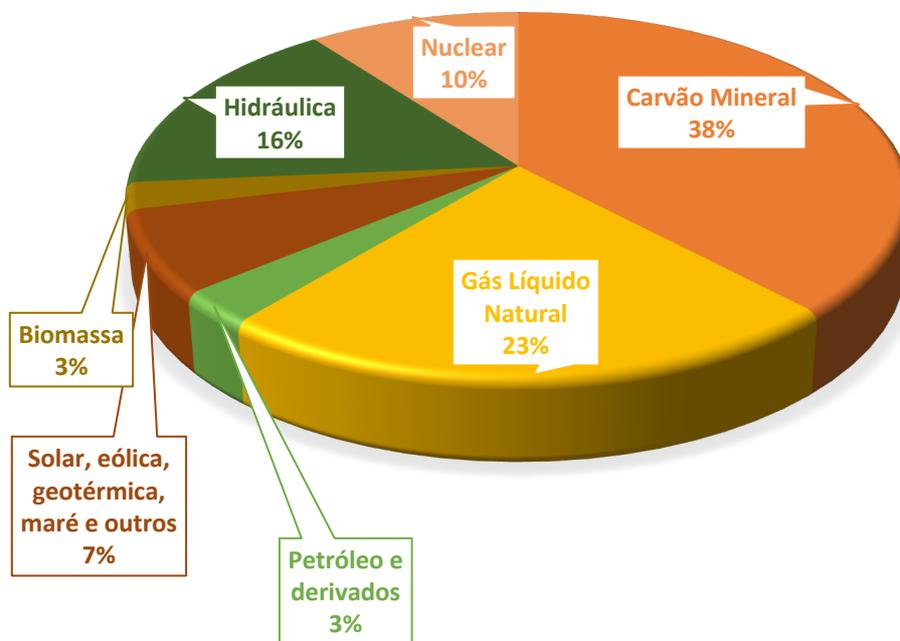
Fontes de origem fóssil, carvão mineral e gás líquido natural são as fontes de origem não renováveis que compõem a matriz elétrica mundial e são as fontes que mais emitem gases de efeito estufa para a atmosfera. Assim sendo, a necessidade

de mudanças de fontes energéticas, surge pela necessidade de medidas mais sustentáveis como o uso de fontes limpas de energia e controle de fontes poluidoras (FGV, 2021).

Segundo *International Energy Agency* (IEA, 2021), a demanda de energia mundial deve se recuperar do ano de 2020, com cerca de 4% de aumento, assim retornaria a demanda global pré-pandemia. Para IEA (2021), estima-se que, a demanda de eletricidade aumente cerca de 1.000 TWh em todo o globo. A China, por exemplo, aumentou seu consumo em 10% quando comparado ao do ano de 2019.

As consequências da pandemia Covid-19 são perceptíveis em todos os cenários da sociedade. Segundo o *World Energy Outlook* (2021), a pandemia conseguiu gerar mais problemas no setor de energia do que qualquer outra crise, situação, guerra ou afins na história que se conhece.

Figura 1 - Matriz Elétrica Mundial de 2020.



Fonte: Elaboração própria a partir de IEA (2021).

Os países em desenvolvimento apresentam maior demanda de energia. O crescimento do PIB está diretamente relacionado com a demanda energética do país.

Destacam nesse cenário os países em desenvolvimento que fazem grande uso da indústria (BHATTACHARYYA, 2011). Do ano de 1973 até 2020, o consumo de energia elétrica na indústria recuou de 958 Mtep para 763 Mtep. Entretanto, o consumo final obteve um aumento de 3.076 Mtep para 3.815 Mtep (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

2.1.2 Cenário Energético Brasileiro

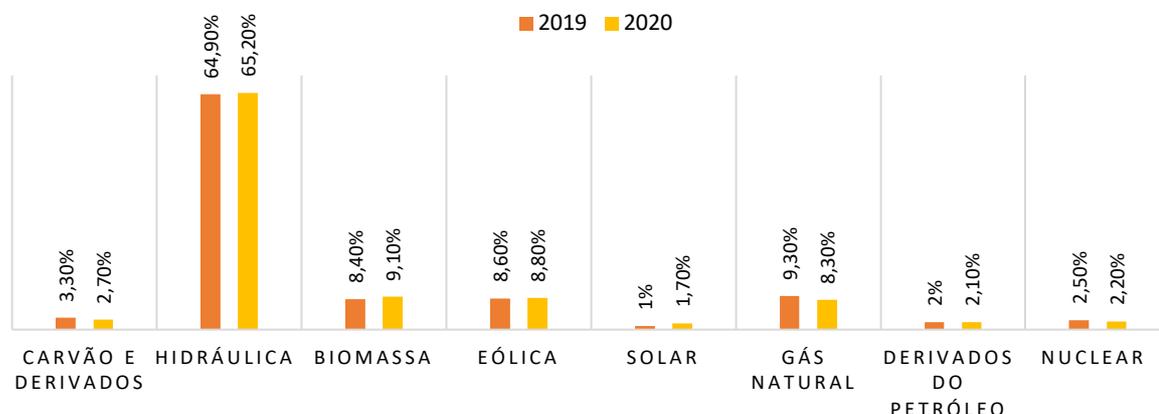
O Brasil possui uma matriz energética predominantemente sustentável devido ao predomínio de fontes renováveis. A sua atual configuração tem como principal fonte de geração de eletricidade a fonte hidráulica, representando cerca de 65,20% no ano de 2020, como mostra a Figura 2 (BEN, 2021).

Apesar da prevalência da fonte hidráulica, o Balanço Energético brasileiro mostra aumento de outras fontes na participação da matriz elétrica. O ano de 2020 reduziu em cerca de 4,2% a geração hidráulica, entretanto, a oferta total de energia reduziu em 8,3%, ou seja, de qualquer forma houve aumento da participação de hidrelétricas na matriz energética (EPE, 2021). O gráfico na Figura 2, revela um aumento da representatividade de novas fontes renováveis como a solar, eólica e biomassa.

Segundo o Balanço Energético Nacional (2021), o progresso das fontes limpas na matriz energética do Brasil contribui para que o país mantenha sua posição avantajada em relação a outros países. A geração de energia renovável nacional sobressai em relação aos países do BRICS¹ (Brasil, Rússia, África do Sul, Índia e China) (GOVERNO DO BRASIL, 2021).

¹ BRICS- Grupo de países emergentes composto por Brasil, Rússia, África do Sul, Índia e China, que cooperam entre si buscando crescimento econômico, social, ascensão da ciência e tecnologia e melhora da segurança entre eles.

Figura 2 - Matriz Energética Brasileira.



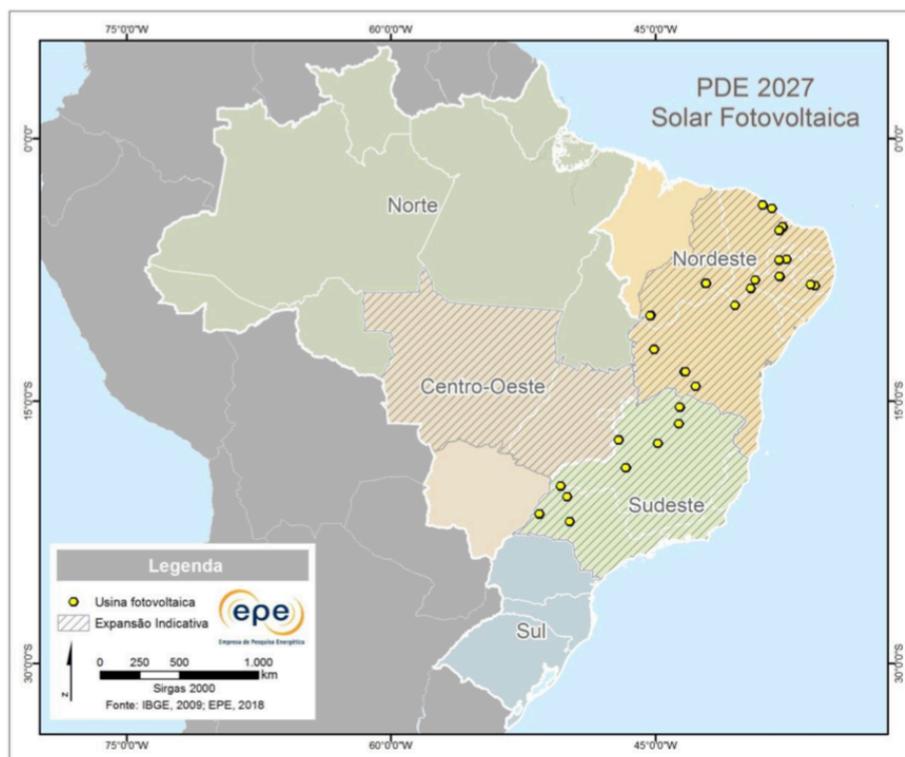
Fonte: Elaboração própria a partir de BEN (2021).

Para o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2021), existe a hipótese da energia eólica no Brasil alcançar uma representatividade no balanço energético de 13,6% ao final de 2025. Os maiores parques eólicos nacionais se encontram na Região Nordeste devido condições favoráveis (RODRIGUES, 2017). Em 2021, a produção eólica teve recordes significativos. Em apenas um dia, teve uma geração de 11.399 MW, o que garantiria o abastecimento de 102% no Nordeste em um intervalo de 24 horas (GOVERNO DO BRASIL, 2021).

Uma fonte que vem crescendo no cenário energético do Brasil é a energia solar. O Governo do Brasil (2021), afirma que a geração solar no território nacional, aumentou em 200% quanto à geração de grandes usinas, e 2.000% em geração distribuída.

As regiões brasileiras possuem diferenças quanto às fontes de geração de eletricidade. Isto acontece devido às diferentes condições climáticas e posição geográfica. Segundo ANEEL (2021), onze estados brasileiros tiveram aumento quanto à geração de energia, destacam-se a Bahia, o Piauí e o Rio Grande do Sul. A Figura 3 apresenta a expansão de usinas solares no território brasileiro.

Figura 3 – Expansão de Usinas Solares Fotovoltaicas no Brasil.



FONTE: EPE (2021).

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A incidência da luz solar na superfície terrestre proporciona inúmeras aplicações, sendo uma delas a geração de energia elétrica. Esta se trata de uma fonte de energia promissora devido ao seu baixo impacto ambiental e por ser considerada inesgotável, considerando a escala de tempo do planeta Terra (NAKABAYASHI, 2014).

Existem inúmeras vantagens de se optar pela energia solar fotovoltaica, como por exemplo a baixa emissão de gases poluentes e gases de efeito estufa e também quanto à redução do preço da energia elétrica (SÁ FREIRE, 2020).

2.2.1 Efeito Fotovoltaico

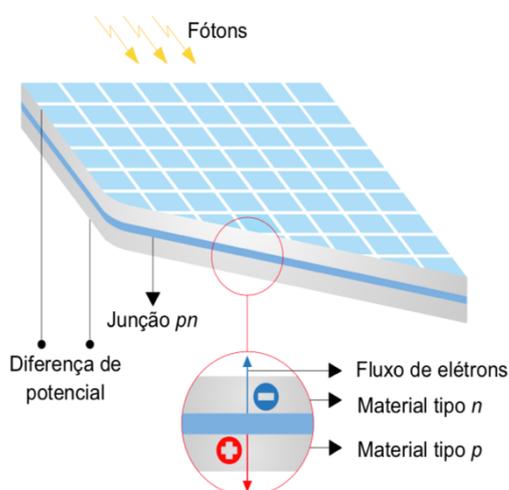
Os sistemas de geração fotovoltaicos funcionam baseando-se no efeito descoberto em 1839 pelo físico Alexandre-Edmond Becquerel, denominado efeito

fotovoltaico (MENEZES, 2021). Suas experiências foram feitas por soluções ácidas em meio aquoso utilizando elétrodos de metal nobre (OLIVATI, 2000). Posteriormente, utilizando-se desse efeito, em 1877 outro físico, Willian Grylls, Adam desenvolveu o primeiro sistema de fotoprodução elétrica (MENEZES, 2021).

O efeito fotovoltaico acontece quando ocorre a incidência dos fótons presentes nos raios solares em superfícies semicondutores. Os materiais semicondutores mais utilizados para se ter o efeito fotovoltaico são o Silício e o Germânio, devido suas propriedades químicas e estrutura atômica (BOYLESTAD e NASHELSKY, 2013).

Essa incidência pode ocasionar excitação dos elétrons que, conseqüentemente, dão origem a corrente elétrica (GREEN, 1986). A Figura 4 ilustra o efeito fotovoltaico, onde os elétrons aparecem de forma alinhada e se movem da camada p para a camada n , no deslocamento destes surge a diferença de potencial na extremidade da estrutura.

Figura 4 - Efeito Fotovoltaico.



Fonte: NOVAIS (2016).

O material do tipo n é uma composição de materiais com cinco elétrons na cama de valência, materiais estes que podem ser fósforo ou arsênio, já que, ambos quando associados ao silício, resulta um elétron livre. O material p é composto de átomos com três elétrons na camada de valência, elementos como o boro e o gálio, que quando juntos ao silício formam lacunas. Quando o material n e p se juntam, forma-se um

material semiconductor (NOVAIS, 2016). São materiais semicondutores que compõem a maior parte da estrutura de células fotovoltaicas.

2.2.2 Células Fotovoltaicas

O processo de conversão de energia acontece nas chamadas células fotovoltaicas (MARÇAL, 2020). A estrutura de uma célula fotovoltaica é um díodo de extensão grande e um material semiconductor que fica no substrato da estrutura (BRITO, 2006).

As células fotovoltaicas são fundamentais na estrutura de arranjo e funcionamento do sistema fotovoltaico. Devem ser produzidas utilizando matérias semicondutoras. As células fotovoltaicas mais comuns são as de silício cristalino (c-Si), que se divide em monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si), e as de filme de silício (VILLALVA, 2012).

A Tabela 1 apresenta comparações das atuais tecnologias existentes para a fabricação de células fotovoltaicas. A necessidade crescente por fontes de energias renováveis e limpa faz com que estudos e pesquisas se desenvolvam em busca de novas tecnologias para células fotovoltaicas mais eficientes e de melhor custo (VILLALVA, 2012).

Tabela 1- Características células fotovoltaicas.

Tecnologia	Sigla	Espessura (μm)	Área (m^2)	Eficiência (%)	Área aproximada para produção de 1kWp (m^2)
Monocristalina	m-Si	200	1,4 a 1,7	14 a 20	7
Policristalina	p-Si	160	1,4 a 1,7	11 a 16	8
Silício Amorfo Hidrogenado	a-Si	1	~1,5	4 a 6	15
Silício Microamorfo	$\mu\text{a-Si}$	2	~1,4	7 a 9	12

Fonte: Elaboração própria a partir de Almeida (2012).

As células fotovoltaicas que utilizam da tecnologia monocristalina (m-Si), as quais são as mais utilizadas e comercializadas, isso se deve ao fato de apresentarem maior

eficiência (BRAGA, 2008). Os módulos fotovoltaicos monocristalinos são produzidos a partir de células de um cristal cilíndrico de silício (CARVALHO, 2021).

A tecnologia policristalina (p-Si) é produzida a partir de uma série de cristais de silício através de um processo simples o que torna esta opção de custo mais baixo (OLIVEIRA, 2021). Entretanto, sua eficiência também é mais baixa, porém são as células mais utilizadas, cerca de 70% (CARVALHO, 2021).

As células de silício amorfo hidrogenado (a-Si) são compostas por camadas finas de um substrato (podendo haver variações entre vidros, inox ou plásticos), camadas condutoras translúcidas e ocorre uma divisão à laser em toda superfície da célula para que ocorra a passagem de corrente elétrica. Essa categoria é usualmente usada em projetos de construção civil que buscam integrar as células fotovoltaicas na construção. A eficiência deste tipo de célula não excede a 6% (AMERICA DO SOL, 2014).

Painéis compostos pela tecnologia silício microamorfo (μ a-Si) possuem eficiência máxima de 9%. Esse tipo de célula fotovoltaica possui uma característica diferente quanto a coloração, suas células possuem um tom acinzentado, o que causa uma maior aplicação arquitetônica sendo bastante viáveis para serem instalados em fachadas de prédios. Essa tecnologia comporta absorção direta e indireta da radiação solar.

2.2.3 Inversores

Os inversores têm uma função fundamental no funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, sua principal função consiste em fazer uma conversão da energia. Com isso, ocorre a conversão elétrica da corrente contínua para a corrente alternada na rede (GUIMARÃES, 2016). Inversores podem ser divididos em dois tipos, aqueles para sistema *on-grid* que são chamados comutados ou *grid-tie*, e os para rede *off-grid*, os autocomutados (BARROS, 2011).

O fator de eficiência do conversor é o que determina o quão este sistema será produtivo. A eficiência pode variar quanto a potência da carga do sistema (STANQUEVISKI, 2016). Parâmetros como a variação de potência aceita no sistema,

tensões nominais de entrada e saída, frequência e características climáticas como umidade e temperatura devem ser consideradas para a instalação do sistema (CEPEL, 2014).

Em sistemas *on-grid* os inversores influenciam o funcionamento dos sistemas, como, por exemplo, podem conectar ou desconectar a rede elétrica segundo à necessidade do sistema fotovoltaica (RAMPINELLI, ARNOKREZINGER e ROMERO, 2013). A eficiência que um inversor pode atingir nesses sistemas varia entre 98% e 94%, importante ressaltar que a eficiência é pré-determinada pelos fabricantes (STANQUEVISKI, 2016). Inversores em sistemas *on-grid* podem ser divididos em três grupos: inversores centrais, *multistring* e de *string*.

Para haver conexão com a rede elétrica, requisitos expostos na regulamentação da ANEEL e normas ABNT devem ser seguidos. A Norma ABNT 16.149:2013, por exemplo, para inversores, define faixas de variações de tensão, frequência, fator de potência e outros quesitos (STANQUEVISKI, 2016).

O mercado de geração de energia solar investe cada vez mais nos inversores. Transformando-o em um dos principais componentes para agregar valor ao sistema fotovoltaico, oferecendo funções como as de armazenamento e gerenciamento de energia e de segurança para o sistema (RODRIGUES, 2017).

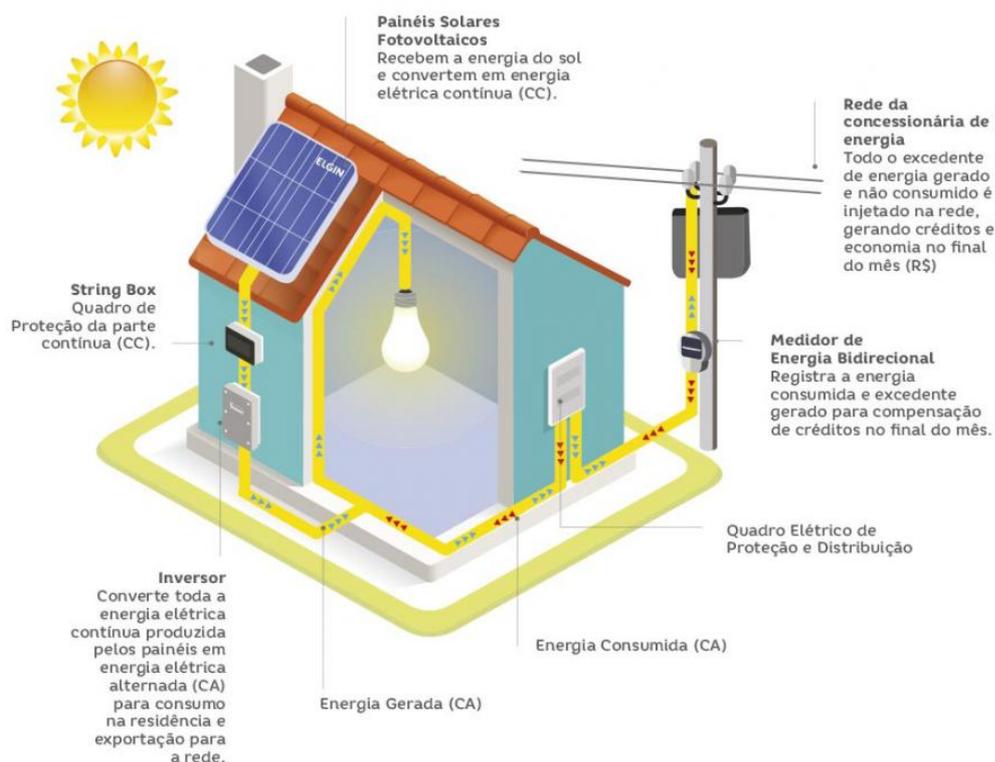
2.2.4 Conexão na Rede Elétrica (Sistemas *On-Grid*)

Sistemas fotovoltaicos que se ligam à rede elétrica possuem estrutura basicamente composta por painéis solares fotovoltaicos, inversor, *string box* e cabeamentos (VINTURINI, 2019). Como o nome sugere, esses sistemas são ligados diretamente na rede elétrica e também são conhecidos como *on-grid*.

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* permite que uma unidade consumidora (UC), seja unidade geradora de energia elétrica (MAESTRI, 2018). A energia produzida nos painéis percorre até ao inversor que a transfere para a rede elétrica (ROCHA e RODRIGUES, 2019). O sistema *on-grid* funciona quando o inversor recebe a energia em forma de corrente contínua dos módulos fotovoltaicos e, a partir disso, essa

corrente se inverte para corrente alternada por meio dos inversores (MENEZES, 2021).

Figura 5 - Ligação On-Grid.



Fonte: Elgin S/A (2021).

Os componentes que fazem parte de um sistema fotovoltaico estão ilustrados na Figura 5. São estes os módulos, inversor, *string box*, quadro elétrico, medidor bidirecional e cabeamentos. Estes são responsáveis para que o sistema opere de maneira satisfatória.

O medidor é do tipo bidirecional porque deve conseguir medir o que o sistema gera e consome de energia em ambos os sentidos (MENEZES, 2021). A *string box* possui fusíveis de proteção e é responsável por unir os cabos elétricos em dois barramentos, um positivo e outro negativo, também pode possuir diodos de bloqueio que impedem que a corrente elétrica circule em sentido contrário, o que danificaria todo o sistema (DUAIK, 2018).

Em casos em que a energia produzida seja a mais que a demanda, essa energia se transforma em crédito para a UC. A energia gerada a mais é injetada a rede da concessionária a título de empréstimo gratuito, enquanto a unidade consumidora adquire crédito para o imóvel (INTELBRAS, 2021).

Esses sistemas operam em paralelo com a rede elétrica e existem três tipos diferentes para sistemas *on-grid*: geração distribuída, microgeração e minigeração e usinas de eletricidade (DUAIK, 2018).

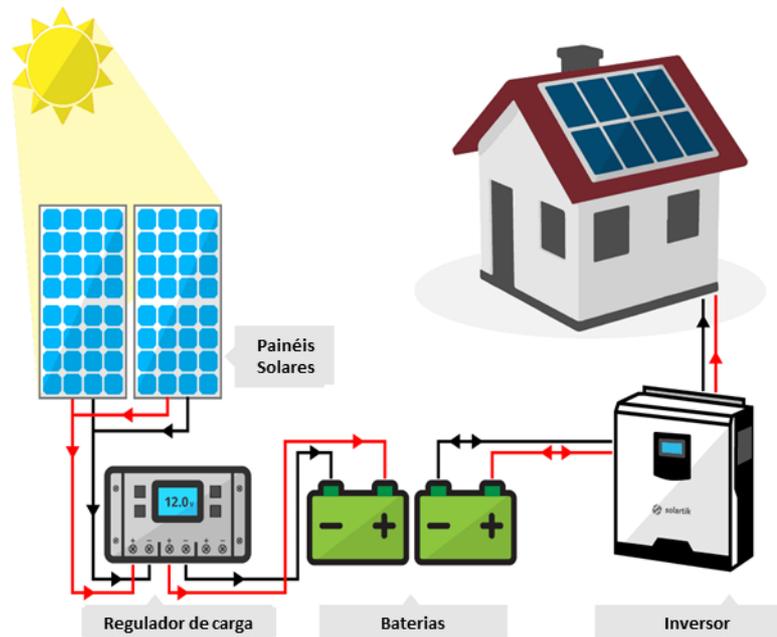
2.2.5 Conexão Isolada (Sistemas *Off Grid*)

Os sistemas *off-grid*, diferente dos sistemas *on-grid*, não são conectados na rede. Também conhecidos como isolados, estes operam com o uso de baterias, controladores de carga e, por opção do consumidor, inversores de corrente alternada (CC) e corrente alternada (CA), caso haja necessidade de CA para alimentar as cargas (MELO, 2020).

Enquanto em sistemas ligados à rede de energia pode ser distribuída para várias unidades, o sistema isolado consegue atender apenas uma unidade consumidora (GÜNTZEL, 2018). É um sistema indicado para unidades de difícil acesso onde a conexão com a rede não seja viável.

A energia produzida em horários de alta irradiação solar, é armazenada para atender o sistema fotovoltaico quando a irradiação for menor e não se pode alimentar as cargas, com isso evita-se falhas de operação do sistema (MELO, 2020). Esse armazenamento acontece no banco de baterias.

Figura 6 – Sistema Off Grid.



Fonte: Adaptado de Solartik (2020).

A Figura 6 exemplifica como um sistema *off-grid* opera com seus componentes. O banco de baterias desempenha a função de guardar o que foi gerado nos módulos fotovoltaicos, o regulador de carga faz a conexão entre os módulos e as baterias, e evita que estas sejam sobrecarregadas (VILLALVA, 2012).

2.2.6 Geração Distribuída

Geração distribuída (GD) é o termo técnico para a geração de energia elétrica, de diversas fontes, na unidade consumidora ou próximo a ela (PORTAL SOLAR S.A). Acontece quando geradores de pequeno porte são instalados próximos aos centros de consumo elétrico (CREPLIVE, 2018).

A unidade consumidora instala, por conta própria, pequenos geradores que no que lhe concerne, geram energia elétrica utilizada na própria UC. Caso essa geração seja maior que o consumo, a energia excedente é injetada na rede, e vira uma espécie de saldo positivo que poderá ser usado para abater nas futuras contas de energia elétrica, esse crédito é válido por 60 meses (CEMIG, 2020).

Atualmente há muitos estímulos para geração distribuída. Esse cenário é justificado por ser meio de geração vantajoso quanto ao meio ambiente, incentivos a expansão do sistema de transmissão e distribuição, diminuição de perdas e também por possibilitar diversificação da rede elétrica (ANEEL, 2018). Entretanto, com a GD pode ocorrer maiores complexidades na rede elétrica, com isso há necessidade de alterações ou criações nos métodos realizados das concessionárias, como, por exemplo, modificações no sistema de receita das instalações (CREPLIVE, 2018).

Segundo a ABSOLAR (2020), o Brasil bateu o recorde de potência instalada através de GD, conseguindo um valor de 2 GW de geração. A geração distribuída pode ser originada por fontes renováveis e não renováveis de energia, porém, cerca de 98% da GD no Brasil é proveniente de energia fotovoltaica (PORTAL SOLAR S.A). A Tabela 2 fornece a quantidade de potência instalada de energia solar fotovoltaica nas unidades de consumo com produção de geração distribuída nos estados brasileiros no de 2021. Percebe-se que o estado com maior concentração de unidades de GD é Minas Gerais com 100.007 unidades e potência instalada de 1.141.840 KW.

Estado	Unidades de GD	Potência Instalada (kW)
Acre	1.245	13.496,29
Alagoas	3.090	33.364,33
Amapá	684	10.077,11
Amazonas	2.642	38.097,65
Bahia	27.011	260.310,75
Ceará	17.380	194.681,84
Espírito Santo	10.334	127.001,24
Goiás	25.267	318.068,68
Maranhão	10.303	107.553,65
Mato Grosso	40.341	565.707,35
Mato Grosso do Sul	16.880	134.018,78
Minas Gerais	100.707	1.141.840,66
Pará	13.665	136.750,86
Paraíba	7.030	79.330,65
Paraná	30.356	370.445,60
Pernambuco	12.039	149.233,81
Piauí	9.159	93.205,50
Rio de Janeiro	32.793	261.345,26
Rio Grande do Norte	15.887	177.049,26

Rio Grande do Sul	81.497	745.689,27
Rondônia	6.456	78.010,66
Roraima	314	3.382
Santa Catarina	19.106	213.168,40
São Paulo	103.922	859.252,71
Sergipe	3.234	37.689,76
Tocantins	8.067	79.348,22
Distrito Federal	4.336	59.990,39
Total	603.745	6.288.110,68

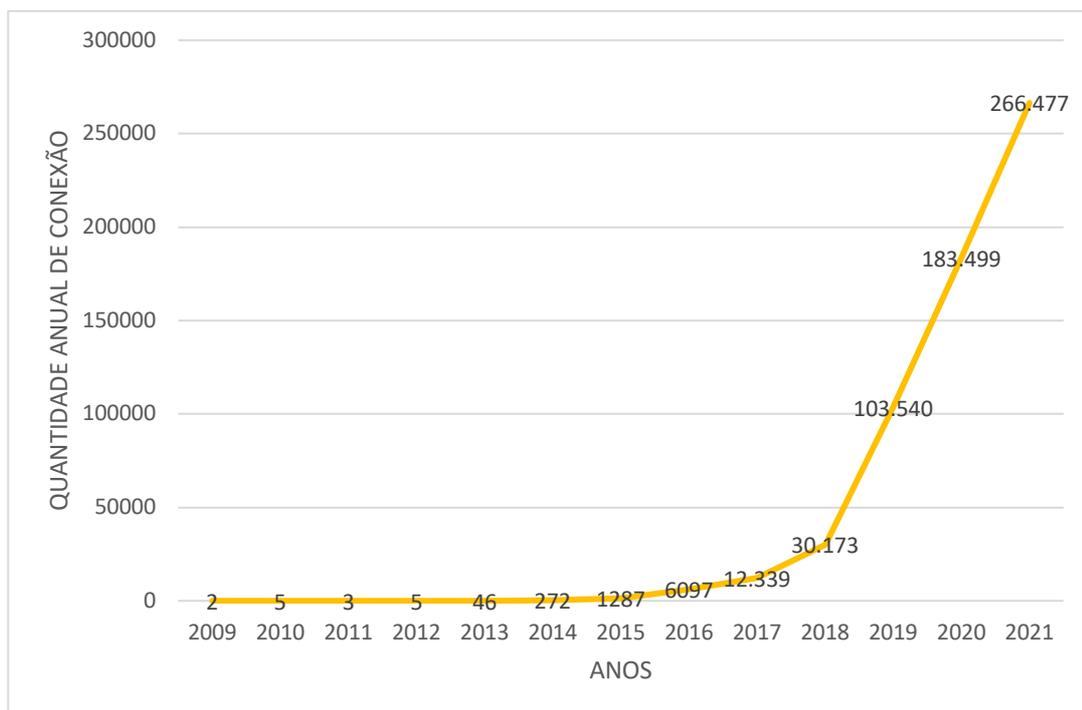
Tabela 2 - Geração Distribuída.

Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2021).

Em 17 de abril de 2012 a Resolução Normativa Aneel nº 482/2012 liberou que cidadãos pudessem produzir a própria energia elétrica proveniente de fontes renováveis e que o excedente pudesse ser injetado na rede elétrica (ANEEL, 2018). Desde então, houve uma crescente adesão à geração distribuída como mostra a Figura 7. Existem incentivos públicos e privados (linhas de crédito) para a GD no Brasil.

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA) é parte da Lei nº 10.438 de 2002 que tem como principal objetivo acrescentar fontes de energia renovável na matriz energética brasileira (BRASIL, 2002).

Figura 7 - Evolução de Conexões de GD.



Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2021).

A partir da execução do PROINFA os números de geração distribuída no Brasil aumentou. A figura acima mostra, através do gráfico, o crescimento das conexões de GD's no território nacional. A admissão por incentivos governamentais para a maior adesão de fontes renováveis de energia resultou com o fortalecimento da geração distribuída, já que esta, também pode ser feita por fontes alternativas de energia como, por exemplo, a solar (RODRIGUES, 2019).

Tabela 3 - Estados com Incentivos.

Estados	Correção da cobrança do ICMS na Compensação Estadual	Isenção de ICMS nos Equipamentos Estaduais	Existência de Programas Estaduais	Facilitação de Licenciamento Ambiental	Publicação de Atlas Solar	Incentivos Municipais
MG	x	x	x			x
RS	x		x	x	x	X
SP	x	x		x	x	X
MT	x					
PR	x		x	x	x	X
SC	x		x			X
RJ	x				x	X
CE	x		x			
GO	x	x	x	x		X
MS	x		x			X

Fonte: Elaboração própria a partir de Rodrigues (2019).

Os estados com maiores GD'S do Brasil contam com incentivos estaduais, municipais e privados, como mostra a tabela 3. Subsídios como o Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS) ser cobrado apenas sobre o que é consumido mensalmente sem cobrar tributação de energia compensada, adesão do IPTU verde e fomentação de estudos acadêmicos referente ao tema a ser publicado no Atlas Solar são alguns exemplos (RODRIGUES, 2019).

2.2.6.1 Microgeração e Minigeração

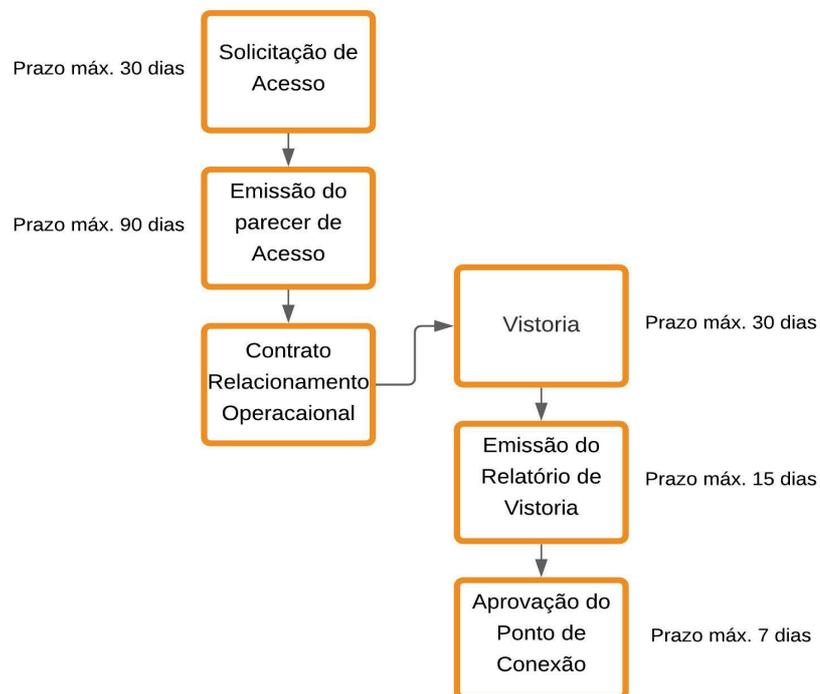
Geração distribuída pode ser dividida em dois tipos: microgeração distribuída e minigeração distribuída. As condições regulatórias para esses tipos estão na Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012, entretanto para melhorar custos e tempo para conexões, aumentar público-alvo e melhorar o acesso à informação a ANEEL realizou alterações na norma e publicou a Resolução Normativa n° 687/2015 (ANEEL, 2018).

A microgeração e minigeração se diferenciam quanto a permissão para potência instalada. Enquanto a microgeração é uma central que gera energia elétrica com potência instalada menor, ou igual a 75 kW conectadas a rede de distribuição,

minigeração possui potência instalada superior a 75 kW ou menor ou igual a 5 MW (ANEEL , 2016) (CEMIG, 2020).

A UC que queira se tornar uma micro ou minigeradora de energia fotovoltaica de seguir um protocolo pré-estabelecido pela concessionária de energia local. Este protocolo está ilustrado no fluxograma da figura 8.

Figura 8 Acesso à Rede de Distribuição.



Fonte: Elaboração própria a partir de O Setor Elétrico (2012).

O primeiro passo, como mostra o fluxograma acima, é entrar em contato com a distribuidora de energia elétrica de seu município. O consumidor deve realizar o requerimento através de formulários que devem ser protocolados e em um determinado prazo a concessionária emite o parecer (ANEEL, 2016). Caso o parecer seja positivo, é realizado um contrato operacional com regras que devem ser seguidas pela unidade e pela distribuidora de energia. Com o contrato firmado por todas as partes é realizada uma vistoria técnica no local, a fim de conhecer o local do futuro ponto de acesso. Se o resultado da vistoria estiver de acordo, acontece a aprovação

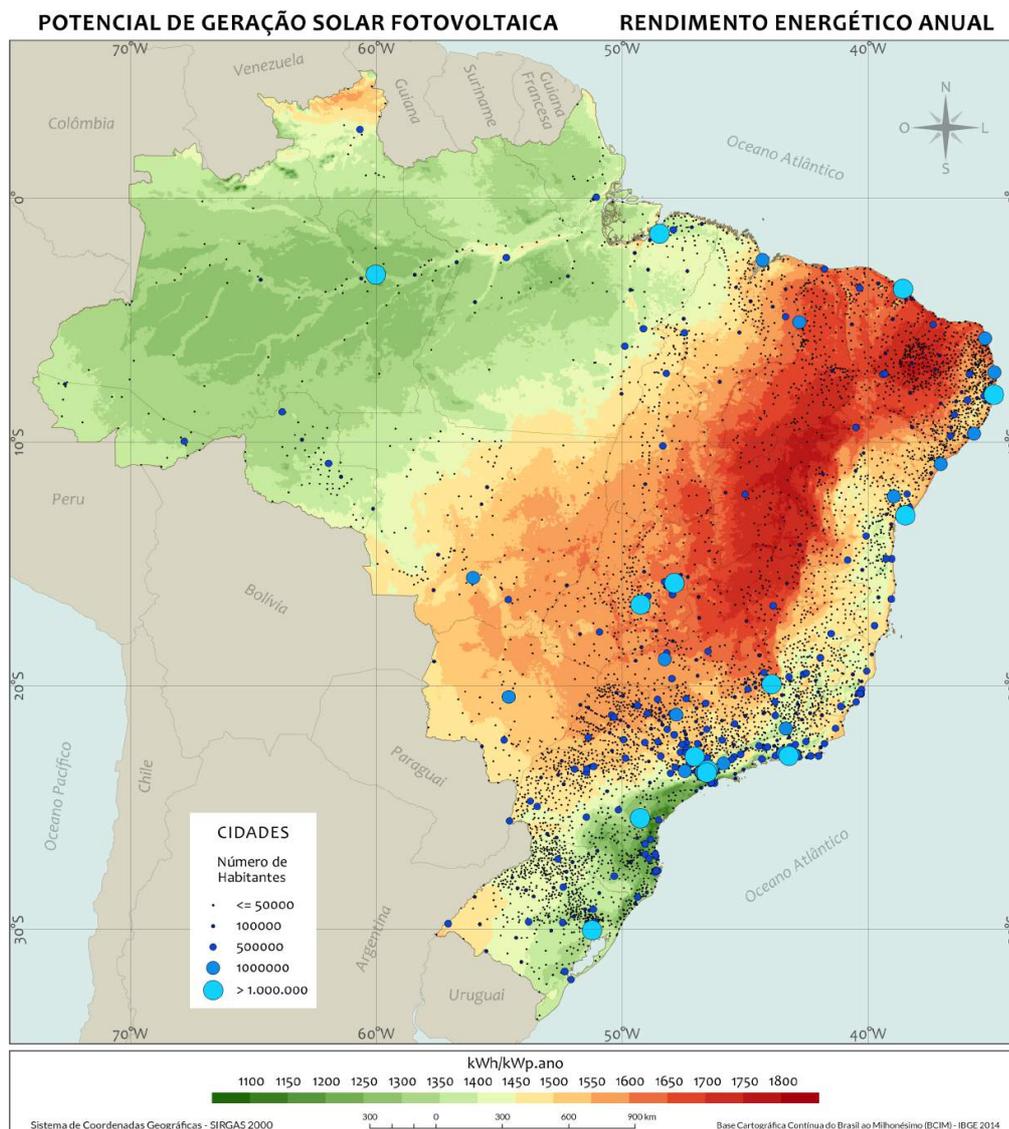
para que aquela unidade consumidora tenha um ponto de conexão (O SETOR ELÉTRICO, 2012).

2.3 Potencial da Geração de Energia Fotovoltaica no Brasil

O território brasileiro possui um grande e promissor potencial de geração de energia elétrica fotovoltaica, como mostra a Figura 9. O mapa ilustra rendimento energético anual máximo para todo o território, a medição foi de usinas de grande porte até as GD's em telhados (PEREIRA, MARTINS, *et al.*, 2017).

Para a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2019), o Brasil tem capacidade de geração fotovoltaica de 28.000 GW. Em cenário mundial a Alemanha é um país referência quanto ao uso de energia solar, entretanto, o local com menos potencial do Brasil tem capacidade de gerar mais energia solar que todo o território alemão (PEREIRA, MARTINS, *et al.*, 2017).

Figura 9 - Potencial de Energia Fotovoltaica no Brasil.



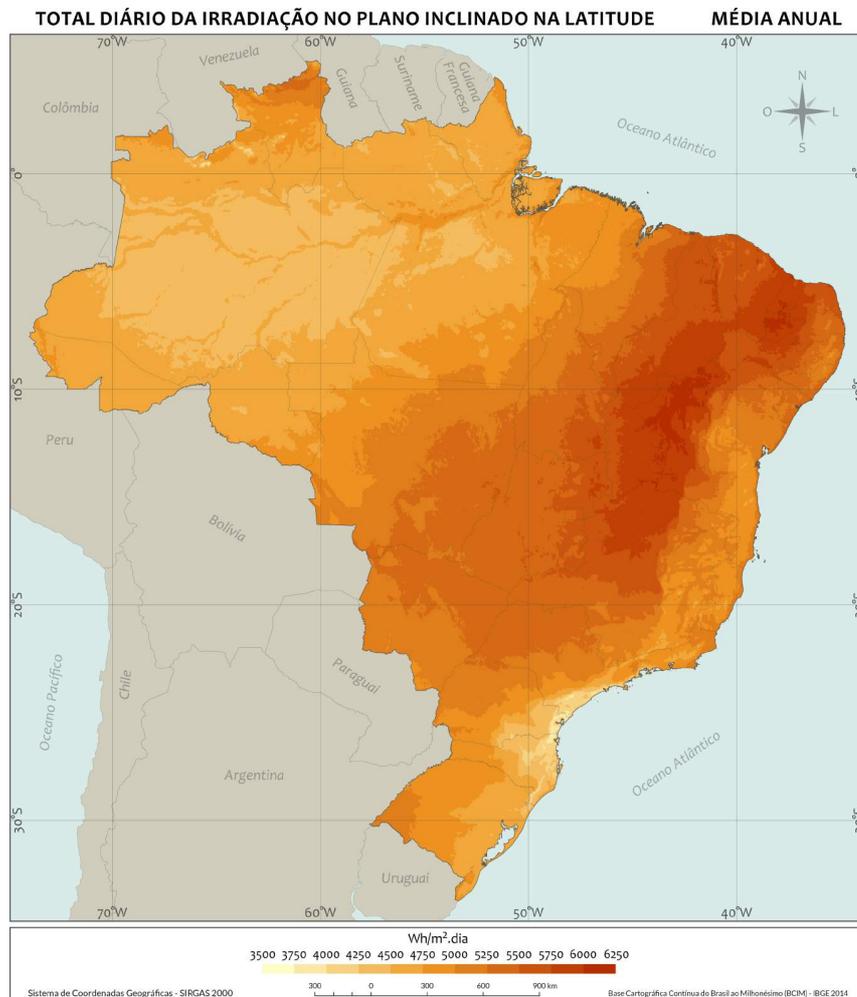
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

Outro aspecto a ser considerado além da localização geográfica, são as quantidades de reserva de silício. O Brasil possui as maiores reservas desse material utilizado para a fabricação das células solares, podendo se tornar líder mundial na fabricação de células fotovoltaicas (RIVELLO, 2019).

2.3.1 Irradiação

O Brasil possui uma localização propícia para altos níveis de irradiação solar. Localizado próxima à Linha do Equador, sua localização garante que variações dos períodos solares durante o dia não variem muito (SÁ FREIRE, 2020). A Figura 10 mostra a figura representativa do Brasil indicando os índices médios no plano inclinado de irradiação no território. Segundo LABREN (2019), a média de irradiação brasileira é de 4,96 Wh/m².dia.

Figura 10 - Irradiação Território Brasileiro.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

A irradiação solar média brasileira é bastante relevante, podendo ser utilizada para diversos fins como ser utilizada em empreendimentos de larga escala, usinas fotovoltaicas e para UC's de grande ou pequeno porte, por exemplo (CREPLIVE, 2018). O sistema *on-grid*, para sua otimização e maior absorção de energia solar, utiliza dados de irradiação no plano inclinado, ou seja, utiliza da inclinação da latitude local (TIEPOLO, JR, *et al.*, 2014).

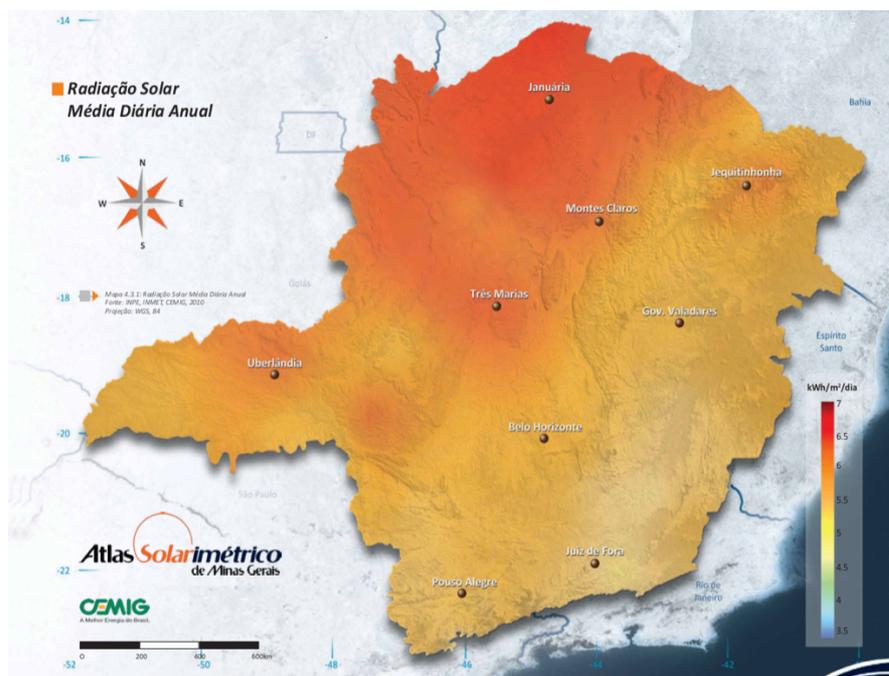
2.3.2 Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica Em Minas Gerais

O estado de Minas Gerais lidera o *ranking* de GD's no Brasil. Segundo ANEEL (2021), cerca de 99% da geração distribuída do estado vem de fonte solar. As cidades de Uberlândia e Buritizeiro, ambas em território mineiro, são as cidades que mais possuem potência instalada (ANEEL, 2021).

O grande potencial de Minas Gerais pode ser explicado por suas características geográficas (RODRIGUES, 2019). Sua localização geográfica garante altos índices de irradiação solar, e o estado possui economia que favorece o consumo elétrico, por incentivos estaduais e pelo interesse em medidas sustentáveis como as já citadas anteriormente (SCARI, 2011).

A Figura 11, apresenta o mapa de radiação solar média anual em Minas Gerais, em que se percebe a região do norte de Minas sendo a que mais ocorre níveis de radiação e a região sudeste com os níveis mais baixos. Os níveis de radiação podem variar entre 4,5 e 6,5 kWh/m² (CEMIG, 2012).

Figura 11 - Radiação em Minas Gerais.



Fonte: Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (2012).

Outro cenário que favorece a adoção de energia fotovoltaica é o fato de Minas Gerais possuir uma das bandeiras tarifárias mais caras do Brasil, o custo varia entre R\$ 0,62 a R\$ 0,76, dependendo da bandeira tarifária (CEMIG, 2021).

2.4 Cenário Brasileiro

Devido sua capacidade de produzir energia solar e incentivos governamentais, o país tem alcançado significativo avanço quanto a geração de energia proveniente do Sol (PORTAL SOLAR, 2020). Além das vantagens climáticas, segundo a ABSOLAR (2020) a indústria de energia solar gerou cerca de 130 mil empregos entre 2013 e 2019, significando que a inserção dessa fonte energética movimenta a economia em todos os eixos (ABSOLAR, 2020).

Para ABSOLAR (2020), as GD's crescem anualmente cerca de 230%, em números energéticos o Brasil passou de produtor de 1 GW para produtor de 3 GW por

geração distribuída no ano de 2019. A Geração Centralizada² não é diferente. O Governo Federal desde 2014 vem realizando leilões para a contratação de usinas de grande porte com capacidade de geração que ultrapassam 1GW de potência por leilão (PEREIRA, MARTINS, *et al.*, 2017).

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), as GD's estão se concentrando em áreas com maior índice de irradiação solar e também em áreas com maior disponibilidade de terras com custo mais baixo. No Brasil, existem grandes Usinas Fotovoltaicas instaladas em diferentes regiões. A Tabela 4 mostra algumas dessas usinas e sua geração média anual.

Tabela 4 - Maiores Usinas Fotovoltaicas Brasileiras.

Empreendimento	Geração (MW)	Empreendimento	Geração (MW)
Usina solar São Gonçalo	475	Central Fotovoltaica Juazeiro Solar	156
Usina solar Pirapora	321	Usina solar Guaimbê	150
Usina solar Nova Olinda	292	Usina solar Apodi	132
Parque solar Ituverava	292	Parque solar Paracatu	132
Complexo solar Lapa	168	Usina solar de Tauá	1

Fonte: Elaboração própria a partir de Portal Solar (2021).

² Geração Centralizada – também conhecida como geração convencional, possui ativos de grande porte com potência elevada e o despacho destes ativos é de responsabilidade da ONS.

2.4.1 Regulamentação Tarifária Brasileira

As tarifas de energia elétrica no Brasil sofrem reajustes, conforme as medidas da ANEEL. Essas taxas podem sofrer aumentos especiais acrescidos na conta de luz quando há escassez de chuva, em que, as hidrelétricas não conseguem gerar a quantidade de energia necessária, e se faz necessário o uso de termoelétricas ou outra fonte de energia de maior custo (DIEESE, 2021).

A Resolução Normativa nº547 de 16 de abril de 2013 estabelece as regras para a cobrança deste sistema (ANEEL, 2021). As bandeiras tarifárias indicam ao consumidor a variação do custo da energia elétrica em sua unidade consumidora (ANEEL, 2021). Existem quatro classificações para as bandeiras, como se observa na Tabela 5, essas classificações são conforme as condições de fornecimento de energia elétrica ao consumidor.

Tabela 5 - Bandeiras Tarifárias.

Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha Patamar 1	Bandeira Vermelha Patamar 2
Condições Favoráveis	Condições menos favoráveis	Condições difíceis	Condições hiper difíceis
Tarifa sem acréscimo	Acréscimo de R\$ 0,01874 kWh consumido	Acréscimo de R\$ 0,03971 kWh consumido	Acréscimo de R\$ 0,09492 kWh Consumido

Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2021).

As modalidades tarifárias são valores mínimos ou também chamado custo mínimo cobrados dos consumidores pelas concessionárias conforme a demanda de potência do estabelecimento. Esses custos são para cobrir a infraestrutura de transmissão de eletricidade (PORTAL SOLAR, 2020).

Os custos mínimos foram divididos por Grupos Tarifários definidos na Resolução Normativa nº414/2010 (ANEEL, 2021). O Grupo A são unidades consumidoras (UC's) de alta e média tensão e também sistemas subterrâneos. O Grupo B são consumidores de baixa tensão, classes residenciais e iluminação pública.

Os valores mínimos para o Grupo A são definidos pela ANEEL como a parcela da conta de luz que corresponde a demanda solicitada (3E UNICAMP, 2020). Entretanto, o Grupo B segue a REN nº414 que define valores para cada padrão de instalação. Os padrões são:

- Monofásico: taxa mínima de 30 kWh;
- Bifásico: taxa mínima de 50 kWh;
- Trifásico: taxa mínima de 100 kWh.

2.5 ENERGIA FOTOVOLTAICA NOS CENTROS URBANOS

Projetos de energia fotovoltaica estão sendo disseminados nos centros urbanos com maior frequência devido a alguns fatores como o crescimento da demanda de energia elétrica, aumento populacional, aumento tarifário das concessionárias e até mesmo conscientização ambiental (FERNANDES DA SILVA, 2018).

Em centros urbanos projetos de energia fotovoltaica podem ser implantados em telhados de edifícios comerciais e residências, estacionamentos ou até mesmo em estádios de futebol, como é o caso do Estádio Governador Magalhães Pinto, popularmente conhecido com Mineirão, situado na cidade de Belo Horizonte (MG), que abriga em seu telhado 6.000 painéis fotovoltaicos produzindo em média 1.42 Wmp de potência (PORTAL SOLAR, 2020).

A arquitetura dos centros urbanos colabora para ser propício à utilização de painéis fotovoltaicos para suprir as necessidades energéticas destes meios. Visto que os edifícios, geralmente, possuem grandes áreas nas coberturas, estão próximos uns dos outros de maneira que ocorra menos sombreamento e possuem nas proximidades redes elétricas para ligação (FERNANDES DA SILVA, 2018).

Segundo BEN (2021), o consumo de energia elétrica no setor residencial aumentou 3,4% em relação ao ano de 2019. Instalação de sistemas fotovoltaicos ligados à rede conseguem atender, toda ou a parcial demanda das edificações urbanas e o setor residencial, tornando viável a inserção neste meio (FERNANDES DA SILVA, 2018). O aumento da demanda de energia elétrica no cenário habitacional pode ser deslindado devido à pandemia da Covid-19. Devido ao afastamento social,

home office, e novos equipamentos eletrônicos para maior conforto houve um aumento do consumo elétrico (BEN , 2021).

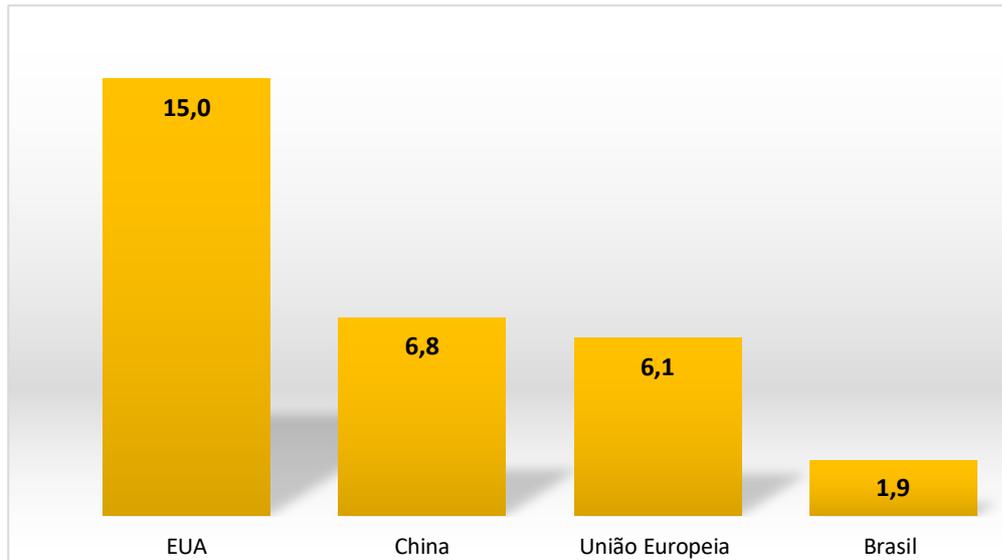
Além da utilização em edifícios, a energia solar pode ser utilizada na iluminação de espaços públicos como praças, parques e vias, resultando cidades mais sustentáveis e trazendo economia. Em casos de usos para iluminação pública, além dos efeitos citados anteriormente, há outra vantagem quanto a não necessidade de manutenção constante, possibilitando a instalação em vias mais distantes de difícil acesso (FERNANDES DA SILVA, 2018).

2.6 EMISSÕES

Segundo BEN (2021), as emissões de dióxido de carbono para atmosfera proveniente a geração de energia no ano de 2020 foi de cerca de 398,3 milhões de toneladas. A oferta interna de energia e as emissões tiveram uma relação de 1,33 tCO₂/tep em 2020, este indicador ficou 41% inferior em relação aos indicadores mundiais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA , 2021).

Em média, cada brasileiro que consome e produz energia elétrica, emite 1,9 tCO₂-_{eq} por ano. Associando a países desenvolvidos como os Estados Unidos ou União Europeia, a média de emissão que um brasileiro produz equivale a 1/7 e 1/3, respectivamente, das outras cidadanias (EPE, 2021). Logo, nota-se a influência do PIB na produção de energia, dado que a produção interna bruta de países desenvolvidos é maior. A Figura 12 representa um gráfico, projetando emissões de CO₂ per capita de países desenvolvidos e do Brasil. Entre eles o Brasil que possui o PIB mais baixo e a menor emissão de CO₂.

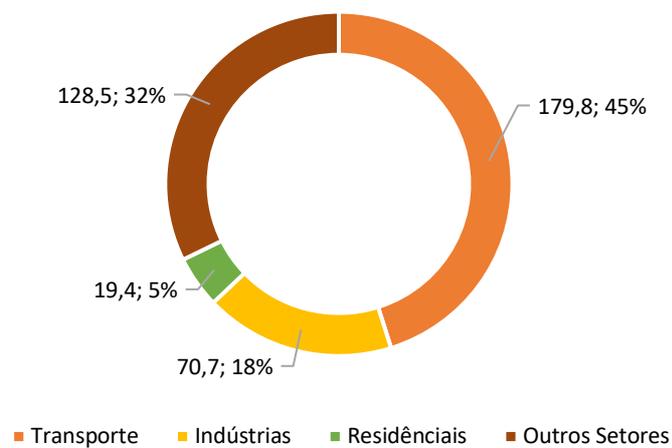
Figura 12 - Emissão de CO₂ Per Capita (t/CO₂-eq/hab).



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2021).

Ações antrópicas relacionadas a matriz energética brasileira, como transportes e indústria, são as principais fontes de emissões. Como mostra a Figura 13, o setor de transporte, principalmente rodoviários, e o setor industrial são os principais consumidores de energia elétrica proveniente de fontes não renováveis (EPE, 2021).

Figura 13 - Emissão de CO₂ por Setor (Mt/CO₂-eq/hab).



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2021).

2.7 IMPACTOS AMBIENTAIS

Assim como todo empreendimento, a energia solar fotovoltaica possui impactos ambientais e, mesmo que de baixo impacto, estes devem ser considerados (CORDEIRO, 2019). Os impactos ambientais vão desde a extração do silício para a fabricação dos painéis até a instalação para a geração de energia solar (TOLMASQUIM, 2016).

O silício antes de se tornar um silício de grau solar, ocorre uma série de processos e modificações nessa matéria-prima. Esses processos envolvem diferentes impactos de nível ambiental. Os principais procedimentos que geram mais impactos são a mineração, a metalurgia e a purificação do silício (YABUTA, 2016).

Segundo Barbosa (2015), impactos ambientais são relacionados diretamente com a localização do empreendimento. Características climáticas, físicas e os ecossistemas do local determinam quais impactos ambientais a região irá futuramente sofrer com o empreendimento.

Existe, segundo o EPE (2018), uma problemática quanto ao uso e ocupação do solo quando se refere a usinas solares fotovoltaicas. Uma parcela significativa dos impactos ambientais é causada com a implantação destas que pode ocasionar interferências na fauna e flora do lugar e interferências nas paisagens.

Considerando a Análise do Ciclo de Vida (ACV), existe certa atenção quanto ao descarte dos painéis fotovoltaicos. Para Cordeiro (2019), a mau gerenciamento de resíduos desses empreendimentos pode gerar contaminação do solo devido à alta carga de metais pesados e elementos químicos como, por exemplo, alumínio, cobre e silício.

Entretanto, vale ressaltar que a fonte solar se identifica por não ser uma fonte emissora de gases poluentes para a atmosfera e de ser renovável. Logo, seus impactos ambientais comparados a outras fontes não renováveis são de baixa escala. Outro impacto relevante é de caráter socioambiental, a geração de empregos desse setor é alta tanto em caráter micro (construção e operação) quanto macro (rede nacional de energia) (EPE, 2018).

2.8 ENERGIA SOLAR NO MEIO URBANO

A intensificação do desenvolvimento de centros urbanos e das cidades ao redor do mundo, configura aumento de impactos ambientais devido a uma série de fatores, um deles é consequência da demanda de energia proveniente de fontes não renováveis (Miranda, 2021). Municípios influenciam e sofrem intervenção no meio ambiente, já que estas, estão em processo constante de adequação. Processos estes que podem ser planejados ou ocorrerem de forma espontânea (BARBOSA, 2019).

As cidades, em geral, possuem grande potencial de geração de energia solar. Além da extensa área disponível – telhados dos edifícios e casas – a arquitetura das cidades possibilita pouco ou insignificante sombreamento o que resulta poucas perdas no sistema fotovoltaico e maior geração de energia pelo SFV (BARBOSA, 2019). As edificações urbanas que se encontram nas cidades brasileiras são, a maior parte, projetadas sem utilizar de forma adequada recursos naturais, ou seja, muitas construções não utilizam energia solar para obter consumo mínimo de energia (Didoné, 2017).

Os sistemas fotovoltaicos são capazes de serem incorporados as edificações e ligados, posteriormente, a rede elétrica. Um SFV pode ser instalado tanto nos telhados como nas laterais da construção, entretanto alguns parâmetros devem ser levados em consideração como o sombreamento, a densidade urbana e formato urbano como formas e dimensões das ruas e orientação (Didoné, 2017).

Aumentar a participação de fontes de energias renováveis é essencial para o desenvolvimento sustentável urbano e o bem estar dos cidadãos ao longo prazo. O uso de energia e aplicação desta varia muito de localização geográfica para cada cidade, fatores como densidade populacional, clima e taxa de crescimento podem determinar quais medidas devem ser adotadas para a adequada adoção de energias renováveis. Políticas de energia são geralmente decididas a nível nacional, entretanto a esfera municipal está em melhor posição para traçar estratégias quanto energias renováveis de acordo com as circunstâncias específicas (IRENA, 2020).

Ações para implementar energia solar no meio urbano vêm sendo observada no cenário nacional e internacional. Empregando além de edifícios e casas, a energia solar é aplicada também a outros espaços urbanos, como iluminação pública, praças,

parques e aeroportos, ciclovias e outros (Silva, 2018). A título de exemplo, em espaço nacional, segundo Governo (2017), havia um projeto federal a fim de destinar R\$ 2,6 milhões para a instalação de projetos fotovoltaicos em escolas públicas municipais de alguns municípios brasileiros. A Escola Municipal Almirante Tamandaré, situada em Palmas, Tocantins, recebeu um projeto fotovoltaico de 160 placas que produzem 44 KW anualmente de custo total de R\$ 210 mil (Portal Solar, 2017). A Figura 14 mostra o telhado da escola onde os painéis foram fixados. Além de atender a demanda de eletricidade da escola o projeto serviu de exemplo para que as crianças da escola tivessem contato com medidas sustentáveis e motivação para toda a cidade, para que, futuramente implantar SFV's em outros setores do município se torna-se realidade.

Figura 14 - Escola Municipal Almirante Tamandaré.



Fonte: Portal Solar, 2017.

Em Belo Horizonte, Minas Gerais, o Estádio Governador Magalhães Pinto, possui uma usina solar fotovoltaica, Figura 15, com 5.910 placas fotovoltaicas capazes de

produzir por ano 1.825 MWh, o que seria suficiente, para abastecer 1.200 residências na cidade de Belo Horizonte (CEMIG, 2017).

Figura 15 - Usina Solar Fotovoltaica Mineirão.



Fonte: CEMIG, 2017.

O SFV do Mineirão é a maior usina em cobertura do Brasil e faz parte de um projeto de ações sustentáveis. A usina injeta na rede da CEMIG cerca de 1MWh por ano e o restante é destinada para suprir todas as demandas energéticas o estádio (CEMIG, 2017).

Em Campinas, São Paulo, a Praça Osvaldo Aranha recebeu um sistema de iluminação solar, em que placas fotovoltaicas foram acopladas em postes e receptam os raios solares durante o dia. Pela Figura 16 pode-se observar os postes especiais responsáveis por esta ação. A energia fica armazenada e é distribuída para outros postes por um sistema de cabeamento presente na praça e é utilizada a noite para a iluminação da praça publica (Portal Solar, 2017).

Figura 16 - Postes com Iluminação Solar.



Fonte: Portal Solar, 2017.

Um exemplo em cenário internacional de quão viável é a adoção de energia solar em meios urbanos, é o bairro Schlierberg na Alemanha, Figura 17. Desenvolvido pelo arquiteto Rolf Disch, o bairro é composto por 59 moradias e um prédio comercial. Todas as residências e o prédio utiliza a energia solar como fonte elétrica. O bairro é capaz de gerar 4 vezes mais energia do que precisaria para atender toda a demanda de infraestrutura social (Hypeness, 2014).

O *slogan* do projeto é “No complexo solar em Schlierberg, o futuro da construção solar e da vida em harmonia com a natureza já é realidade”, é um projeto piloto de edificações feitas de madeira e com cores vibrantes, feito com o intuito de ter uma aparência distinta e autêntica (National Stadt Entwicklungs Politik, 2018). No bairro não somente a energia solar é a medida sustentável adotada, a estrutura do projeto traz um conceito de redução de veículos, gestão sustentável de uso e tratamento de água, gestão de resíduos orgânicos, inorgânicos e de construção (National Stadt Entwicklungs Politik, 2018).

Figura 17 - Bairro Solar na Alemanha.



Fonte: Hypheness, 2014.

Segundo Gs Energy (2017), o empreendimento ganhou prêmios como *“House of The Year”* em 2002, *“Germany’s Most Beautiful Housing Community”* em 2006 e o prêmio *“Residential PV Solar Integration Award”* em 2002. O reconhecimento deste projeto vem de suas vantagens econômicas e sustentáveis. Segundo a reportagem feita pelo site Hypheness (2014), a arquitetura sustentável desse bairro permite a não emissão de cerca 500t de CO₂ para a atmosfera anualmente.

Outro caso de estruturas solares em lugares compartilhados em vias urbanas e em iluminação pública proveniente de energia solar. A ciclofaixa *Solar Road* na cidade de Krommenie Holanda, Figura 18, é um exemplo de empreendimento solar urbano público. A estrutura possui 100 metros de comprimento de placas fotovoltaicas revestidas de vidro temperado e é capaz de gerar 3.000kWh por ano (Autossustentável, 2017).

Figura 18 - Solar Road.



Fonte: Solar Road, (2016).

Os pesquisadores desta tecnologia, buscaram substituir o asfalto comum por um bloco de células fotovoltaicas. Assim, futuramente, pode-se pensar em rodovias, estradas e ruas capazes de produzir energia solar que pode ser utilizada para suprir a demanda do local ou ser direcionada para a rede elétrica e servir para atender a demanda de outras localidades (Solar Road, 2016).

Continuando no cenário internacional, no Vaticano, o Salão de Festas Paulo VI, recebeu como doação 2.400 painéis fotovoltaicos da empresa alemã World Solar AG, Figura 19 (EcoSolar, 2016). O SFV foi instalado na cobertura da edificação e foi o primeiro empreendimento solar da cidade do Vaticano, o sistema é capaz de produzir aproximadamente 315.000 kWh de energia o que atenderia a demanda de metade da

construção. Em termos ambientais o prédio com SFV pouparia a emissão de 200t de CO₂ anualmente (IRENA, 2016).

Figura 19 - Vista de cima do Salão Paulo VI.



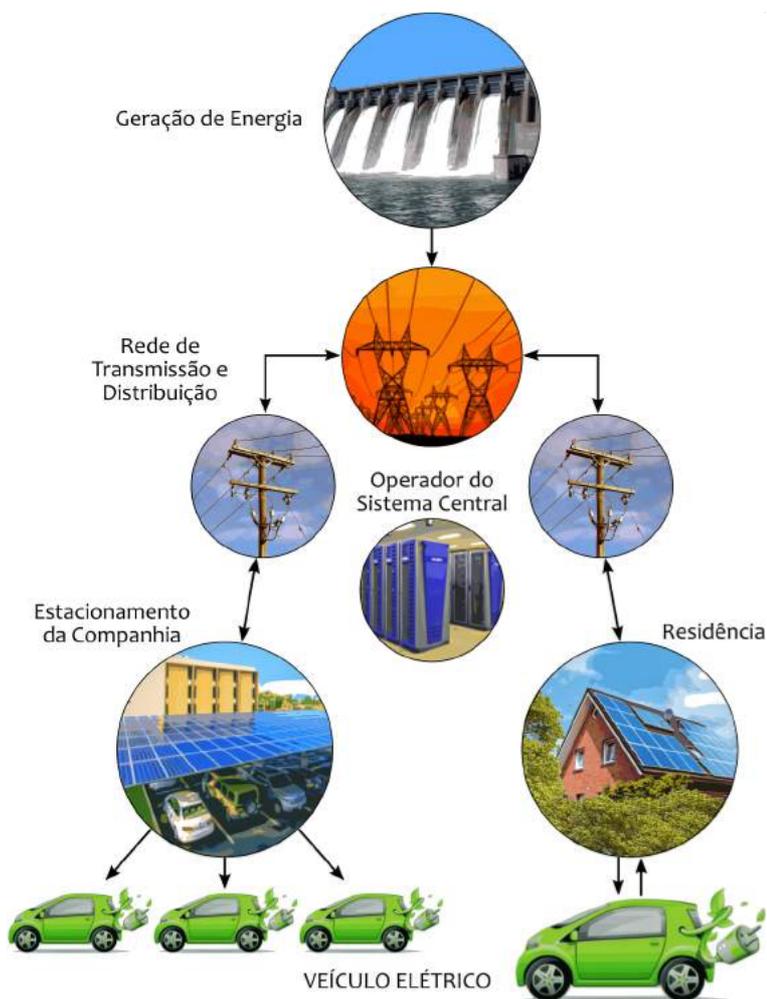
Fonte: (Eco Solar, 2016).

O Vaticano tem como meta se tornar um estado pioneiro em não produzir gases de efeito estufa (EcoSolar, 2016). Após o primeiro empreendimento solar no Salão Paulo VI, o Vaticano instalou painéis solares em mais três edifícios do estado que tendem a evitar 80t de CO₂ e suprir a demanda energética destes (Portal Solar, 2019).

No cenário urbano, o transporte aliado ao sistema de energia solar, reduz a emissão de gases e custos quanto a combustíveis de origem fósseis. Energia elétrica já é usada para abastecer transporte público como metrô, trens e ônibus. Bicicletas elétricas, carros e motocicletas também estão recebendo incentivos tecnológicos para serem usadas através de eletricidade (IRENA, 2016).

Na medida que tecnologias solares se popularizam, edificações e veículos elétricos tendem a ficarem cada vez mais conectados, como mostra a Figura 20 que ilustra um sistema de *Vehicle to Grid*, onde, veículos são recarregados com eletricidade solar geradas nas unidades consumidoras, que podem ser neste sentido, estacionamentos ou até mesmo a residência do proprietário do veículo.

Figura 20 - Diagrama que Esquematiza Possíveis Utilização da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Telhados Urbanos e de Veículos Elétricos.



Fonte: EPE, 2017.

Mobilidade urbana elétrica tem vantagens para as cidades, não apenas na mitigação dos impactos ambientais, mas também na diminuição de ruídos nas cidades e na economia, por não utilizar combustíveis derivados do petróleo ou gás (IRENA, 2017). Veículos elétricos de grande e pequeno porte, de acordo com EPE (2017), estarão mais presentes no meio urbano nacional nos próximos anos, e conta-se que a energia solar consiga suprir a demanda de energia destes meios de locomoção e assim conseguir ganhos econômicos e ambientais.

2.9 VIABILIDADE ECONÔMICA

Um investimento de um sistema de energia fotovoltaico tem de ser analisado quanto a sua viabilidade econômica, uma vez que há um alto custo para a instalação deste. Para analisar essa viabilidade, são escolhidas as variáveis: Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e *Payback* (DUAIK, 2018).

2.9.1 Valor Presente Líquido

O VPL determina o valor de pagamentos que terão de ser realizados no futuro, descontados uma taxa de juros menos o custo do investimento inicial, o valor do VPL é um cálculo muito importante para avaliar a atratividade de um investimento (GOMES, 2017). Para Rebelatto (2004), projetos com um VPL maior que zero são viáveis, pois o retorno é igual ao maior ao investimento inicial e um VPL menor que zero não são atrativos devido ao retorno financeiro inferior ao investimento.

Esse indicador possui vantagens quanto à avaliação de investimentos, é confiável e flexível. Entretanto, as empresas o consideram com um indicador de difícil interpretação. Isso faz com que, preferencialmente, estas prefiram o TIR como método para se estudar a viabilidade do sistema (NAKABAYASHI, 2014).

2.9.2 Taxa Interna de Retorno

Segundo SOUZA (2018), TIR indica a taxa intrínseca do rendimento de um determinado investimento onde o VPL seja igual a zero. Quando a TIR for maior que o custo de capital a aplicação é considerada viável. Esse indicador igualará fluxos de entrada e saída de um estabelecido capital, assim é possível determinar a taxa de retorno dos fluxos de caixa do investimento (ROSS, 2015).

A taxa interna de retorno consegue determinar em qual velocidade os custos são recuperados. Se o valor da TIR for elevado, o retorno do investimento será rápido (LORDÊLO e VERHINE, 2001). Para o cálculo do TIR é indicado utilizar um *software*

como o Excel, principalmente quando o fluxo de caixa for grande (ANDRADE e SILVA, 2018).

2.9.3 Payback

Método de retorno, popularmente conhecido como *payback*, quando calculado, oferece uma noção se o projeto é viável ou não, porém é limitado quanto à rentabilidade (NAKABAYASHI, 2014).

A análise desse indicador, quando utilizada com outros métodos de análise de viabilidade, demonstra com precisão a associação entre valor e tempo de retorno dos investimentos (LORENZET, 2013). O *payback* procura analisar o projeto ressaltando o período de recuperação do investimento inicial, ou seja, estuda o tempo que o reembolso será igual ao desembolso (REBELATTO, 2004).

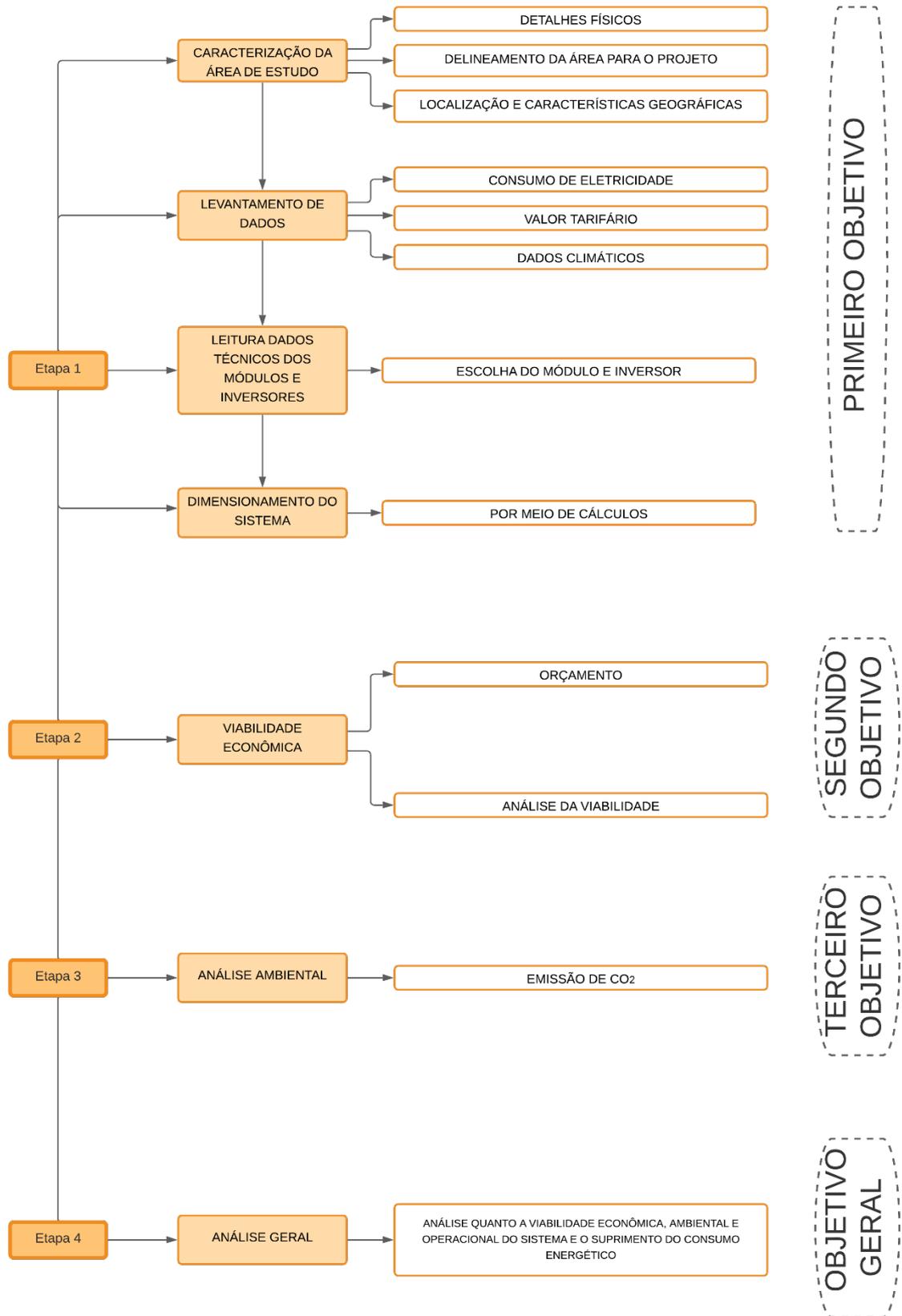
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho analisa a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de um sistema solar fotovoltaico ligado à rede para um prédio residencial em um centro urbano da cidade de Belo Horizonte no estado de Minas Gerais, de modo a suprir a demanda de energia elétrica das áreas comuns deste condomínio. Para isso, considerou-se variáveis como localização geográfica, consumo mensal médio de eletricidade e área disponível para a análise do projeto.

A fim de atender os objetivos propostos no trabalho, foi realizada uma pesquisa exploratória de caráter quantitativo, valendo-se de conceitos vistos no referencial bibliográfico e de cálculos técnicos. Para Gil (2007), a pesquisa exploratória possibilita a aproximação do tema, tornando-o mais compreensível a partir de uma investigação bibliográfica e estudos de exemplos para melhor compreensão. Uma abordagem quantitativa possibilita a chegada de resultados quantificados, a partir de análises de dados brutos, relações entre variáveis e linguagem matemática.

A Figura 21, mostra as etapas desenvolvidas ao longo da metodologia do presente trabalho. Foram realizadas 6 etapas, a fim de se obter resultados que atendessem aos objetivos propostos.

Figura 21 - Etapas da Metodologia.

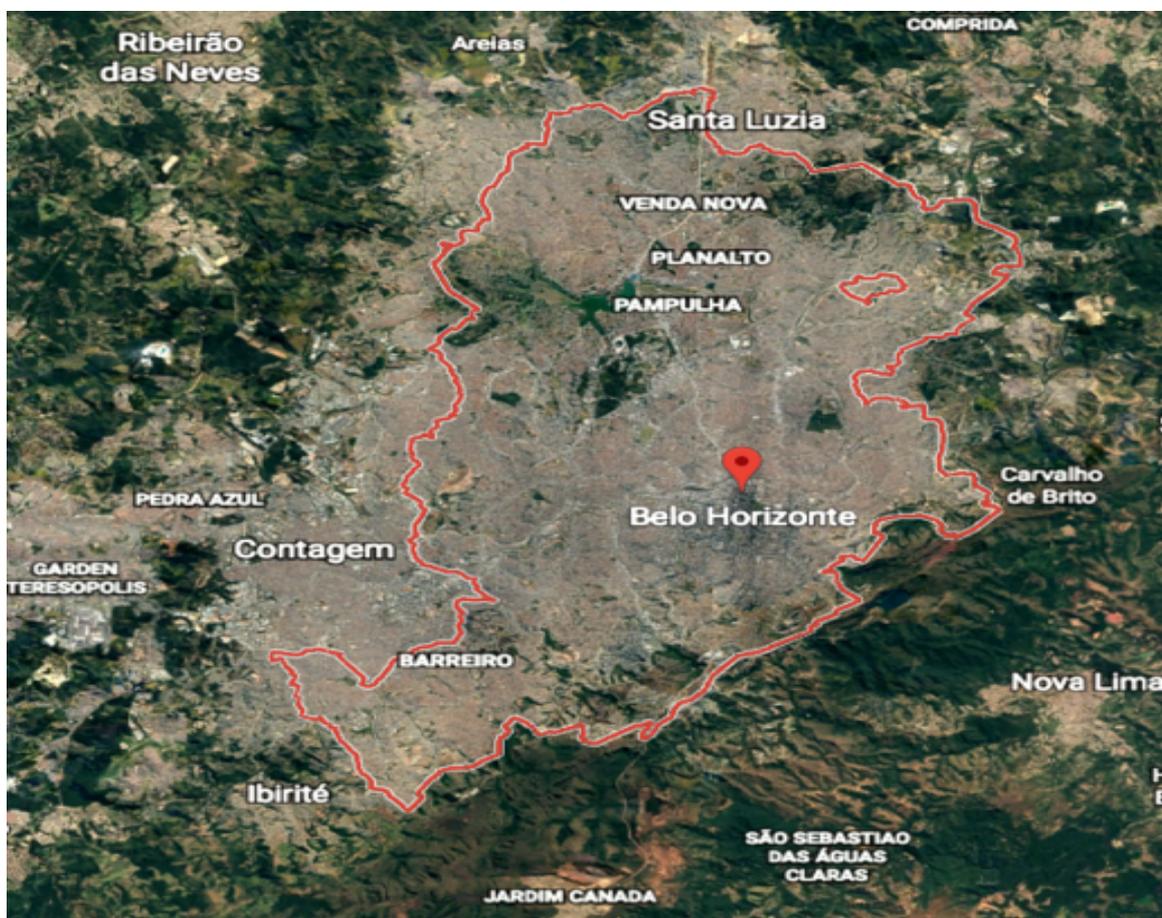


Fonte: Elaboração própria (2022).

3.1 LOCAL DE ESTUDO

A cidade Belo Horizonte, Figura 22, é a capital do estado de Minas Gerais e está localizada na latitude -198.157 e longitude -439.542 (GLOBAL ATLAS SOLAR, 2021). Possui uma população de 2.722 milhões de habitantes em uma área de 331,40 km² (IBGE , 2021). De clima subtropical úmido, com temperatura média de 21,5 °C e irradiação solar de 1929,6 kWh/m² (GLOBAL ATLAS SOLAR, 2021).

Figura 22 - Localização do município de Belo Horizonte.



Fonte: Google Earth (2021).

O prédio residencial em estudo, como mostra a Figura 23, está localizado na região central de Belo Horizonte. Sua estrutura é composta por dez andares com quatro apartamentos cada e um amplo corredor em cada andar, uma portaria, um almoxarifado e um banheiro de uso para os moradores. Ao todo, são 332 moradores.

Em toda sua estrutura, o prédio possui trinta lâmpadas, dois elevadores, uma televisão e dois portões automáticos.

O dimensionamento dos painéis fotovoltaicos foi elaborado para a área do telhado do prédio residencial. A Figura 24 mostra a cobertura do prédio dividida em três partes: uma frontal, uma traseira e uma elevada. Apenas foi possível fazer a instalação dos painéis fotovoltaicos na parte frontal e elevada, pois a parte traseira é uma área sombreada. Através do *software Field Area Measure* a área disponível para construção do projeto é 140 m².

Figura 23 - Prédio Residencial em estudo.



Fonte: Google Earth (2021).

Figura 24 - Cobertura do Prédio Residencial.



Fonte: Google Earth (2021).

3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

3.2.1 Levantamento de Dados

O levantamento de dados é parte considerável em qualquer projeto. Neste trabalho, buscou-se averiguar os dados de geração média de consumo diário e mensal, taxa tarifária cobrada pela concessionária da cidade de Belo Horizonte e dados climáticos da capital.

Para adquirir os dados, solicitou-se ao condomínio a conta de luz do último mês de agosto do ano de 2021. No documento, foi possível extrair o histórico dos últimos 12 meses de consumo, bem como o valor tarifário cobrado pela distribuidora de energia e o consumo mensal.

A Tabela 6 possui os dados do consumo de energia elétrica do prédio residencial no período de 12 meses, e o valor do KW/h cobrado pela concessionária (CEMIG) em cada mês. Ressalta-se que esse consumo é referente às áreas comuns do edifício.

Tabela 6 - Consumo e Preço da Energia Elétrica Consumida.

HISTÓRICO DE CONSUMO 2020												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONSUMO (kw/h)	825	891	852	849	665	676	790	858	838	1009	1023	819
PREÇO R\$ (kw/h)	0,89	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,88	0,89	0,87	0,85	0,86	0,89

Fonte: Elaboração própria a partir de CEMIG (2021).

O dado climático utilizado foi a irradiação solar diária média anual, que foi levantado a partir do programa *SunData*, uma ferramenta disponível pelo Centro de Referência para Energia Eólica e Solar (CRESESB), de modo a apoiar projetos de

dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A irradiação solar diária permite determinar a melhor posição onde os módulos devem estar posicionados. As informações sobre a irradiação solar diária média anual estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados irradiações.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia)												Média	Delta
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Plano Horizontal	0°	5,80	5,98	5,15	4,78	4,17	4,06	4,28	5,15	5,54	5,66	5,35	6,64	5,13	1,92
Ângulo igual a latitude	20°	2,28	5,71	5,25	5,30	5,00	5,11	5,30	5,97	5,85	5,52	4,94	5,08	5,36	1,03
Maior média anual	20°	5,28	5,71	5,25	5,30	5,00	5,11	5,30	5,97	5,85	5,52	4,94	5,08	5,36	1,03
Maior mínimo mensal	19°	5,32	5,73	5,26	5,28	4,97	5,07	5,26	5,94	5,85	5,53	4,97	5,12	5,36	0,98

Fonte: Elaboração própria a partir de CRESSESB (2021).

3.2.2 Caracterização dos módulos fotovoltaicos e inversores

Para a escolha do melhor módulo fotovoltaico, foi realizada uma seleção de quatro módulos de marcas diferentes para que houvesse uma comparação e, somente assim, fosse possível escolher a que melhor atenderia à necessidade do local de estudo. As marcas escolhidas são comercializadas no mercado nacional. A Tabela 8 descreve os módulos e suas características.

Tabela 8 - Módulos Solares Fotovoltaicos

	Painel Solar Fotovoltaico CS3U-355P	Painel Solar Fotovoltaico ODA330-36-P	Painel Solar Fotovoltaico SS-450-72-M	Painel Solar Fotovoltaico LP182-M-78-MH
Marca	Canadian	OSDA	Sunova	Lepton Solar
Potência (Wp)	355	330	450	590
Eficiência (%)	17,89	16,97	20,4	21,3
Tecnologia	Policristalino	Silício Policristalino	Silício Monocristalino	Silício Monocristalino
Preço (R\$)	739,00	949,00	1599,00	1569,00

Fonte: Elaboração própria a partir de NEOSOL (2021).

Para a escolha do melhor painel foi usado um indicador denominado “i”, calculado a partir da Equação 1 (CRESESB, 2014). Quanto menor este indicador for, mais viável será a escolha ao determinado painel.

$$i = \frac{\text{Preço}}{(\text{Potência} \times \text{Eficiência})} \quad (1)$$

Fonte: CRESESB, (2014).

A escolha do inversor foi realizada analisando que o mesmo não deva receber excesso de carga, para que a potência do sistema não se limite, e também não deve ser subutilizado, devido ao seu alto custo. Outros critérios para a escolha foram o valor e a marca. Buscou-se marcas comerciáveis no Brasil e com um custo-benefício viável.

Foram escolhidos dois inversores para que pudesse haver comparação entre eles. O primeiro inversor é da marca *Canadian Solar* modelo CSI-5K-MTTL com potência nominal de 5 kW. A outra escolha foi o inversor da marca mais comercializada no Brasil, Fronius, modelo PRIMO 3000 com potência nominal de 3,84 kW.

Para a escolha, foi calculado o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI), que resulta na relação da potência do gerador fotovoltaico e a potência do inversor. O FDI indica qual capacidade o inversor opera sobre a potência fotovoltaica. A Equação 2 (CRESESB, 2014) mostra os cálculos do FDI, e a Equação 2.2 o valor final para a primeira opção de inversor.

$$\text{FDI} = \frac{P_{\text{inv}}}{P_{\text{sis}}} \quad (2)$$

Fonte: CRESESB, 2014.

$$\text{FDI} = 0,88 \quad (2.1)$$

Cálculo do FDI para a segunda opção na Equação 3 e valor final na Equação 3.

$$\text{FDI} = 0,67 \quad (3)$$

Em que,

FDI: Fator de Dimensionamento do Inversor (adimensional);

P_{inv} : Potência nominal do inversor (kW);

P_{sis} : Potência máxima do gerador fotovoltaico (kWp).

3.2.3 Parâmetros de dimensionamento do sistema fotovoltaico

O sistema foi dimensionado seguindo alguns parâmetros exigidos e de forma a atender à demanda do consumo de energia. Tais parâmetros são: consumo médio mensal, irradiação solar média mensal, especificação dos módulos fotovoltaicos e inversores, disposição do arranjo do sistema e possíveis perdas do sistema.

Uma das principais características a se conhecer é a área necessária para a disposição dos módulos. Diante da decisão de qual módulo solar fotovoltaico irá ser utilizado, foi determinado a área necessária e quantidade de módulos para o dimensionamento. Dados primários como a energia média consumida no residencial e a irradiação solar média foram utilizados nos cálculos. A Equação 4, 4.1 mostram o cálculo da área.

$$\text{Área} = \frac{\text{Energia média diária}}{(\text{IMD} \times \text{Ef})} \quad (4)$$

Fonte: CRESESB, 2014.

$$\text{Área} = 31,01 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

Em que,

Área total (m^2): área total necessária para o projeto;

Energia média diária (kWh/dia): corresponde à energia média consumida diariamente no local de estudo;

IMD ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$): irradiação solar média diária

Ef: eficiência do painel

Após a determinação da área, pode-se determinar, a partir da Equação 5, o número necessário de painéis para o projeto. Para se conhecer o número máximo de módulos que o projeto comporta, é necessário, primeiramente, determinar o modelo que será usado, pois cada modelo pode variar de tamanho.

$$N^{\circ}\text{de módulos} = \frac{\text{Área total}}{\text{Área do módulo}} \quad (5)$$

Fonte: CRESESB, 2014.

$$N^{\circ}\text{de módulos} = 15,66 \quad (5.1)$$

Em que,

N° de módulos: quantidade necessária de painéis fotovoltaicos;

Área total (m²): área total necessária para o projeto;

Área do módulo (m²): área total do painel fotovoltaico

Com o resultado, a quantidade mínima para atender o projeto, serão de 16 módulos.

3.2.3.1 Configurações do Sistema

A partir da escolha do módulo fotovoltaico e do inversor foi possível traçar a melhor configuração do projeto a ser instalado. É de grande valia, verificar se valores de tensão de saída e a corrente gerada nos módulos não excedem valores de entrada pré-estabelecidos pelo inversor. O número de placas fotovoltaicas que terão de estar em série, foi calculado pela Equação 6. Será considerado que o inversor trabalha em uma faixa de tensão de corrente contínua de 175V a 550V.

Para inversores de 175V,

$$n_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{ramos}}}{V_{\text{oc}}} \quad (6)$$

Fonte: CRESESB, (2014).

$$n_{\text{serie}} = 3,74 \quad (6.1)$$

Para inversores de 550V,

$$n_{\text{serie}} = 11,745 \quad (6.4)$$

Em que,

n_{serie} : números necessários de módulos em série;

V_{ramos} : Faixa de tensão CC de carga total (V);

V_{oc} : Tensão em aberto dos módulos fotovoltaicos (V)

É necessário saber quantos arranjos estarão em paralelo e se a potência do inversor suportará essa configuração do sistema. Por meio das Equações 7 e 8, para estimar a potência do inversor e para determinar a quantidade de arranjos em paralelo, respectivamente, pode-se estimar possíveis estruturas para o projeto. As configurações possíveis estão na Tabela 12.

$$P_{\text{inv}} = n_{\text{serie}} \times P_{\text{módulo}} \quad (7)$$

Fonte: CRESESB, (2014).

Em que,

P_{inv} : Potência máxima do inversor (Wp);

n_{serie} : números necessários de módulos em série;

$P_{\text{módulo}}$: potência máxima dos módulos (V)

$$n_{\text{ramos em paralelo}} = \frac{N_{\text{t módulos}}}{N_{\text{série}}} \quad (8)$$

Fonte: CRESESB, (2014).

Em que,

$n_{\text{ramosemparalelo}}$: quantidade de módulos e paralelo;

$N_{\text{tmódulos}}$: número total de módulos;

$N_{\text{série}}$: número de módulos em série

Com as configurações propostas, é preciso determinar a quantidade de energia fornecida pelo sistema e, após isso, determinar as perdas de eficiência que este sistema pode ter. Os cálculos foram realizados para cada opção de configuração do projeto. A Equação 9 ilustra a energia gerada pelo sistema diariamente, a Equação 10 a energia com perdas de eficiência.

$$E_{d_{\text{sistema}}} = \text{Área}_{\text{módulo}} \times n_{\text{módulos}} \times I_d \times \text{Eficiência} \quad (9)$$

Fonte: CRESESB, (2014).

Em que,

$E_{d_{\text{sistema}}}$ (kWh) - energia gerada diariamente

$\text{Área}_{\text{módulo}}$ (m²) – área do módulo

$N_{\text{módulos}}$ – número de módulos

I_d (kWh/m².dia) – Índice de irradiação

Eficiência (%) – eficiência máxima dos módulos

$$E_{d_{\text{perdas}}} = \text{Energia diária}_{\text{sistema}} \times E_{f_{\text{inversor}}} \times E_{f_{\text{caixa de junção}}} \times E_{f_{\text{fios}}} \quad (10)$$

Fonte: CRESESB, (2014).

Em que,

E_{perdas} (kWh) – energia diária com perdas

E_{sistema} (kWh) – energia diária total

E_{inversor} (%) – eficiência do inversor

$E_{\text{caixadejunção}}$ (%) – eficiência da caixa de junção (adotam-se 99%)

E_{fios} – eficiência dos fios (adotam-se 99%)

A capacidade da produção de energia dos módulos depende diretamente da variável de irradiação diária, logo, da localização geográfica.

Os resultados da quantidade de geração com e sem perdas, foram expostos na Tabela 13 e pode-se escolher o melhor arranjo do sistema.

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise da viabilidade econômica deste trabalho consiste, principalmente, em avaliar, o tempo de retorno do capital investido inicial para o condomínio. Para realizar a análise da viabilidade, foi considerado o valor inicial do projeto através de um levantamento do orçamento dos componentes do sistema e, em seguida, foi feito os cálculos do VPL, TIR e *Payback*.

Conforme estabelecido, o projeto e os componentes necessários para a sua implantação, foram requisitados orçamentos dos equipamentos, contabilizando também, uma taxa de manutenção para 25 anos, junto aos principais comerciantes, representantes e revendedores.

Foram considerados os três indicadores financeiros para determinar se o projeto é viável ou não economicamente. O primeiro indicador calculado foi o VPL, descrito pela Equação 11, em seguida foi realizado o cálculo do TIR pela fórmula matemática (12) e, por fim, o cálculo do *Payback*, Equação 13. Todos os cálculos foram realizados usando o *software* Excel e postos em planilhas.

O VPL é calculado pela seguinte fórmula:

$$VPL = -FC_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^n} \quad (11)$$

Fonte: DUAIK, (2018).

Em que:

FC_0 - investimento inicial

FC_t - fluxo de caixa no ano n

n - número de anos

k - custo de capital

O TIR pode ser calculado pela equação matemática abaixo:

$$VPL = -FC_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^n} \quad (12)$$

Fonte: DUAIK, (2018).

Em que:

FC_0 - investimento inicial

FC_t - fluxo de caixa no ano n

n - número de anos

k - custo de capital

TIR - taxa interna de retorno

A fórmula abaixo ilustra o cálculo do *Payback*:

$$FC_0 = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+k)^n} \quad (13)$$

Fonte: DUAIK, (2018).

Onde:

FC_0 - investimento inicial

FC_t - fluxo de caixa no ano n

n - número de anos

k - custo de capital

A tarifa média de energia elétrica no estado de Minas Gerais é de R\$ 0,620 kWh (ANEEL , 2021). A concessionária responsável pela distribuição no estado é a CEMIG e suas taxas de aumento anual de energia é, em média 1,28%, em relação ao ano anterior (CEMIG , 2021). Com essas informações técnicas e o valor total do orçamento foi calculado as variáveis de análise de viabilidade econômica. Foi considerado a Taxa Selic de 9,25%.

Após os cálculos dos indicadores econômicos e considerando dados pré-fixados, foi possível conhecer o tempo necessário para que o capital inicial retornasse ao empreendimento, a taxa de lucratividade e o quanto o condomínio teria de economia ao longo dos 25 anos de vida útil deste sistema fotovoltaico.

3.4 ANÁLISE DE EMISSÃO DE CO₂

Para a estimativa de quanto de emissão de CO₂ seria evitada, foi utilizada a ferramenta Idesam. Um *software online* capaz de calcular as emissões de dióxido de carbono. Segundo o Idesam (2021), a calculadora de emissão foi criada a partir de segmentos do Programa Brasileiro *GHD Protocol* e bases de dados do MCT, CETESB e Eletrobrás.

Para o cálculo da estimativa há duas opções de dados de entrada, o consumo de energia elétrica em kWh/mês ou o valor da conta de luz em real brasileiro. Para obter a estimativa da emissão de CO₂ foram utilizados valores médios da conta de luz em uma projeção de 25 anos.

3.5 ANÁLISE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA *ON-GRID* EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL LOCALIZADO EM UM CENTRO URBANO NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Com a análise geral do presente trabalho foi possível averiguar se o referido projeto fotovoltaico atenderia ou não a demanda daquela unidade consumidora e quais seriam suas características técnicas. Foi verificado todos os elementos do sistema, assim como a facilidade de instalação, a área disponível e os elementos dos sistemas.

A viabilidade econômica do projeto, foi crucial para determinar os resultados. Após analisar cada variável financeira e compará-las com os valores atuais da conta de luz, analisar o tempo de retorno do investimento, pode-se determinar o quão viável economicamente será este projeto.

A viabilidade ambiental foi analisada por comparações de outros tipos de emissões atmosféricas e de usos de diferentes fontes de energia elétrica. Fez o uso de comparativos com outros trabalhos já publicados afim de fazer comparações.

Para uma análise geral do uso de energia fotovoltaica *on-grid* em um residencial localizado em um centro urbano no estado de Minas Gerais levou-se em consideração dados disponíveis sobre a situação atual do estado quanto ao uso de energia e geração, também ao uso de energia por setores e parte do referencial bibliográfico presente no trabalho.

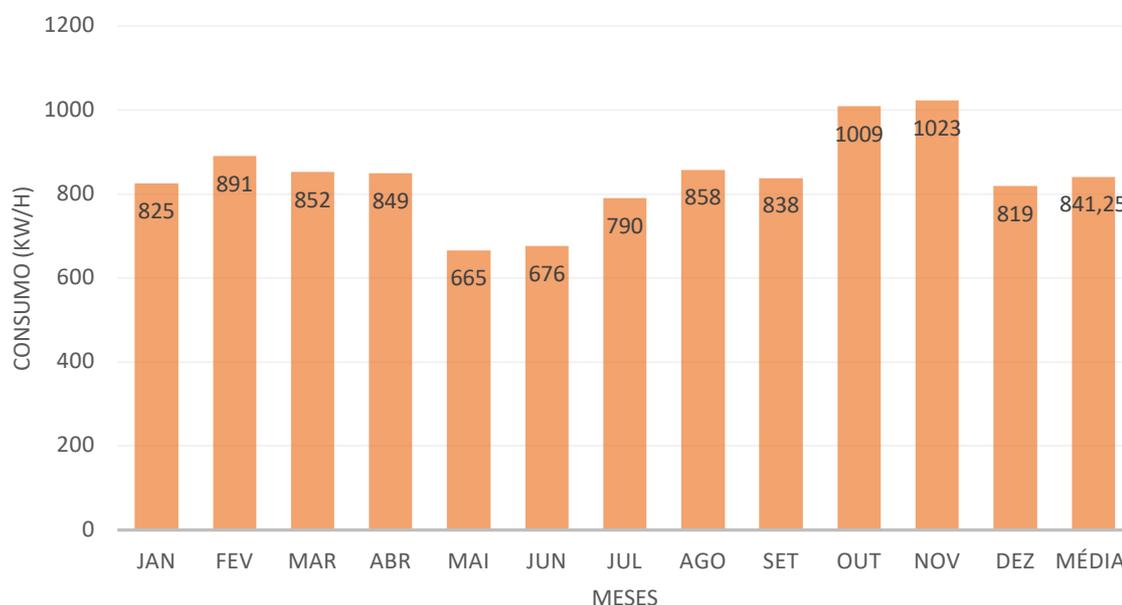
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para um edifício residencial

Para considerar o dimensionamento para o edifício residencial no centro urbano da cidade de Belo Horizonte os resultados foram obtidos por cálculos e outros fatores de conhecimento técnicos como, por exemplo, a inclinação das placas fotovoltaicas.

Os consumos médios de eletricidade em edifícios urbanos variam de acordo com suas dimensões e seus fins. Um prédio comercial tende a ter mais consumo elétrico do que um prédio residencial, devido ao maior fluxo de pessoas transitando diariamente. O prédio residencial em estudo possui um média anual de consumo de energia elétrica de 841kW/h, como mostra a Figura 25 para suas áreas comuns.

Figura 25 - Consumo de Energia Elétrica.



Fonte: Própria autoria a partir de CEMIG (2022).

Os meses observados possuem uma certa linearidade quanto ao consumo, entretanto, nota-se nos meses de outubro e novembro, um aumento, que fez com que

o consumo ultrapasse mais de 1.000 kWh. Tal comportamento pode ser explicado pela presença de uma obra civil no edifício nesse período, o uso de máquinas que consomem maior eletricidade ocasionou o aumento do consumo nesses dois meses.

No estudo de caso de IBEAS (2017), o prédio residencial, possui 4 andares, 16 apartamentos e não possui elevadores, está localizado na cidade de Campo Grande (MS) e apresenta um consumo médio anual de 461 kWh. Outro estudo de caso de Florinani (2018), o residencial em estudo possui características físicas parcialmente diferentes com o residencial em estudo, como 15 andares totalizando 60 apartamentos, 2 pavimentos de garagem e dois elevadores, entretanto o consumo médio anual de eletricidade deste é de 1.894 kWh.

Considerando o resultado obtido no presente trabalho e os resultados dos outros estudos de caso citados, o consumo médio de energia elétrica da edificação estudada pode ser considerado aceitável comparando com as outras. Dado que, o residencial não conta com um sistema de lâmpadas de LED como o do estudo de Florinani (2018) e possui dois elevadores que operam 24 horas, diferentemente do edifício de IBEAS que não possui elevadores. O baixo consumo elétrico pode ser justificado pela presença de grandes espaçamentos na parede de vidro garantindo iluminação natural durante o período diurno.

Com a presença desses espaçamentos de vidros, nota-se uma preocupação arquitetônica que resulta em uma edificação com certa eficiência energética e com menor consumo de energia. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX, 2014), a prática de edificações com características que proporcionam eficiência energética viabiliza diminuições de cerca 60% no consumo de eletricidade, esta afirmativa pode ser observada neste estudo.

Mesmo com o baixo o consumo de energia, é interessante sempre buscar por alternativas mais sustentáveis, assim sendo, o dimensionamento do projeto foi iniciado a partir da busca da melhor escolha dos componentes do SFV. A seleção dos painéis fotovoltaicos resultou em painéis comercializados e de fácil acesso em território nacional. As marcas selecionadas são todas internacionais, porém possuem ampla comercialização no Brasil.

Tendo em vista os painéis selecionados, a Tabela 9 mostra os resultados do indicador “i”. É importante trabalhar com ferramentas matemáticas que permitem

encontrar o melhor custo-benefício, já que, como são marcas internacionais, o preço pode variar conforme o dólar. O resultado dessa ferramenta simples, o cálculo do indicador, permitiu que houvesse a melhor escolha do módulo fotovoltaico.

Tabela 9 - Indicador Painel Solar.

Modelo	i
Painel Solar Fotovoltaico CS3U-355P	0,116360544
Painel Solar Fotovoltaico ODA330-36-P	0,16946126
Painel Solar Fotovoltaico SS-450-72-M	0,174183007
Painel Solar Fotovoltaico LP182-M-78-MH	0,1248508

Fonte: Elaboração própria, (2021).

O resultado para os “i” não foi discrepante, isso porque houve o cuidado de selecionar painéis com alta potência e eficiência para haver um bom resultado para o projeto. O painel solar fotovoltaico SS-450-72-M da fabricante chinesa Sunnova foi o que resultou no maior indicador “i” devido seu alto valor de mercado, o que não é nada interessante, visto que, busca-se projetos de custo baixo. O painel Solar Fotovoltaico ODA330-36-P da fabricante OSDA possui preço acessível, porém sua potência de 330 Wp fez com que seu indicador ficasse relativamente alto. A fabricante Lepton Solar responsável pelo painel solar fotovoltaico LP182-M-78-MH possui um valor de comercialização alto, entretanto sua potência e eficiência são altas o que fez com que o indicador fosse baixo em relação aos outros dois citados anteriormente.

A partir da análise do menor indicador, o modelo Painel Solar Fotovoltaico CS3U-355P foi o escolhido para compor o projeto. Esse modelo possui avaliação do INMETRO e atende todos os quesitos para a comercialização. Suas características técnicas estão descritas na Tabela 10. A estrutura desse painel possui 144 células policristalinas e de baixa corrente interna, assim consegue-se uma perda de potência menor no sistema. Esse painel também possui células com pequenas dimensões que possibilita maior adequação à sombra. Sua estrutura é composta de vidro temperado

com antirreflexo que auxilia na maior captação dos raios solares e material que não capta água (NEOSOLAR, 2021).

Tabela 10 - Características técnicas do Painel Solar Fotovoltaico CS3U-355P

Especificações	Valores
Potência do Painel	355 Wp
Tolerância	± 5 W
Tensão de Máxima Potência (Vmp)	39,4 V
Corrente de Máxima Potência (Imp)	9,02 A
Tensão em Aberto (Voc)	46,8 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9,59 A
Tensão Máxima do Sistema	1000 V
Eficiência	17,89%
Temperatura Nominal da Célula (TNOC/NOCT)	42 ± 2 °C
Corrente Máxima do Fusível	30 A
Dimensões do Painel	2000 x 992 x 35 mm
Peso do Módulo	22,5 Kg
Número de Células e Tipo	144 - Silício Policristalino

Fonte: Elaboração própria a partir de NEOSOLAR, (2021).

O melhor inversor para o sistema deve operar com um FDI entre 0,75 e 1,2 (COSTA, 2010). O FDI do primeiro inversor foi de 0,88 e do segundo de 0,67. Assim o inversor da fabricante Fronius não atende a operação do sistema tendo um valor abaixo do recomendável. Assim o inversor para o projeto será o inversor CSI-5K-MTTL da Canadian. O inversor possui eficiência máxima de 97,9%. A Tabela 11 consta as informações técnicas deste.

Tabela 11- Características técnicas do inversor modelo CSI-5K-MTT

Dados de Entrada em Corrente Contínua (CC)	
Máx. Potência PV recomendada (STC)	5750 W
Máx. Tensão de Entrada CC	1000 V
Faixa de Tensão CC	70-550 V
Faixa de Tensão CC de Carga Total	175-550 V
Número de rastreadores MPP / Strings por MPPT	02/01
Dados de Saída em Corrente Alternada (CA)	
Potência Nominal de Saída CA	5000 W
Máx. Potência de Saída CA	5000 W
Máx. Corrente de Saída	22.7 A
Conexão CA	Trifásico

Fonte: Elaboração própria a partir de ALDO, 2021.

Como já discutido anteriormente no presente trabalho, O FDI representa a relação da potência máxima de saída do inversor em relação à potência das placas fotovoltaicas. O inversor escolhido corresponde a 88% da potência dos painéis fotovoltaicos, ou seja, este inversor estará em *oversizing* ou sobrecarregamento. Logo, esse resultado leva à conclusão de que o inversor é capaz de gerar uma média alta de energia diária nos períodos matutino e vespertino em dias ensolarados.

Com o resultado de que houve sobrecarregamento do inversor, infere-se que durante a instalação do projeto a potência nominal dos painéis fotovoltaicos será maior que a potência nominal do inversor. Esta é uma relação considerável, visto que os ganhos de energia em períodos de alta irradiação são maiores que a quantidade de energia gerada pelo inversor quando este atinge sua potência máxima.

Com base no consumo médio mensal de eletricidade do edifício de 841,25 kWh e o consumo médio diário é de 27,57 kWh/dia (CEMIG, 2021), dados coletados de irradiação média solar e o fator de eficiência do painel CS3U-355P a área necessária para a instalação da central microgeradora é de 31,01 m². A área do edifício disponível para a implantação do sistema é de 140 m², logo, pode-se afirmar ser possível o projeto ser instalado no lugar desejado.

Com a área necessária para a execução do projeto menor que a área total disponível, a execução do projeto, que atenda a demanda de energia elétrica do residencial atende ao objetivo da proposta de um dos pontos de vista técnico. Como resta um grande espaço de área disponível no telhado do edifício é de grande valia

ressaltar, futuros projetos que busquem atender o consumo dos apartamentos do prédio residencial.

Assim como dados gerais, a área do módulo é fornecida pelo fabricante em sua ficha técnica, como mostra a Tabela 10. Tem-se, então, que cada módulo possui dimensões de 1,984 m². Nesse sentido, com a área necessária para o projeto e a área aproximada que cada módulo ocupara no espaço do projeto, a quantidade máxima de módulos que caberia no sistema é de 16 módulos, que poderão estar em arranjos de forma paralela e/ou em série.

Quanto à inclinação, o ângulo de inclinação dos módulos é de 19° (maior mínimo mensal), já que, delta que representa a variação da irradiação solar é a menor. O valor utilizado para a irradiação será de 4,97 kWh/m².dia, referente ao mês de maio. A escolha desse valor justifica-se por ser a menor irradiação solar do ano, logo, o projeto a ser feito, mesmo tendo baixa irradiação atenderá a demanda.

Os arranjos do sistema dependem diretamente das características técnicas do inversor e dos módulos fotovoltaicos utilizados. Considerando duas faixas de tensão para o inversor trabalhar, uma de 175V e a outra de 550V, que são o máximo e mínimo estabelecidos para o inversor, o resultado encontrado foi que o sistema fotovoltaico suportará entre 4 e 12 painéis em série. Para determinar o arranjo do sistema, é também necessário conhecer quantos painéis estarão em paralelo.

Foi estimado a potência do inversor para assim, determinar a quantidade de arranjos em paralelo. As possíveis configurações do sistema estão na Tabela 12.

Tabela 12 - Configurações do projeto fotovoltaico.

Opções de configuração	Módulos em série	Ramos em paralelo	Potência do Inversor (wP)	Quantidade aproximada de módulos
I	4	4	1420	8
II	5	3,2	1136	8
III	6	2,7	946,7	9
IV	7	2,3	811,4	9
V	8	2	710	10
VI	9	1,8	631,1	11
VII	11	1,5	516,4	12
VIII	12	1,3	473,3	13

Fonte: Elaboração própria, (2021).

Percebe-se que quanto maior o número de módulos em série a potência do inversor é menor, isso se deve ao fato de serem variáveis inversamente proporcionais. Para Pinho et. al Galdino (2014), o cálculo do número de módulos em série deve respeitar a relação entre os valores de máxima tensão aberta do painel em circuito aberto e também a tensão de entrada máxima do inversor. Tanto V_{oc} quando $V_{i_{máx}}$ são disponibilizadas pelos fabricantes dos módulos e inversores. A relação é dada pela Fórmula 4 abaixo.

$$n^{\circ} \text{ de módulos} \times V_{oc} < V_{i_{máx}} \quad (4)$$

Fonte: CRESESB, (2014).

Em que,

V_{oc} - máxima tensão aberta do painel em circuito aberto;

$V_{i_{máx}}$ - tensão de entrada máxima do inversor

Pela ficha dos fabricantes, Tabela 10 e 11, encontra-se V_{oc} igual a 46,8V e $V_{i_{máx}}$ igual a 1000V. A Equação 4.1 e 4.2 representa a relação entre os valores.

$$561.6 < 1000 \quad (4.1)$$

Para determinar essa relação, foi utilizado o número máximo de possíveis arranjos em série. Pelo resultado encontrado na Equação 4.2, nota-se que a relação foi respeitada.

Os resultados da quantidade de energia fornecida pelo sistema com perda e sem perda foram obtidos para ter uma noção próxima da realidade da eficiência do projeto.

Considerando os valores pré-fixados do sistema, como consumo médio diário do residencial, nota-se que há duas configurações possíveis para o eventual projeto. As configurações VII e VIII, geram diariamente 27,67 kWh e 29,63 kWh respectivamente. Ambas atenderiam a demanda, entretanto, a melhor escolha é a configuração VII.

A configuração VII que segue em 13 módulos é capaz de produzir uma quantidade de energia maior que o consumo diário de 27,57 kWh/dia, sendo esta a

melhor escolha a ser feita, pois assim, irá exceder energia produzida. A energia excedente poderá ficar armazenada na rede ou ser convertidas em créditos para a concessionária local que geraria maior lucratividade para o residencial. Mesmo que, a configuração do sistema é composta apenas por arranjos em série, o desempenho do sistema quanto ao fator de forma e corrente do curto-circuito da curva corrente vs. Voltagem não alteraria, já que, os módulos fotovoltaicos são idênticos.

Os valores da geração de energia diária estão na Tabela 13. Considerando as configurações do sistema VIII, a quantidade média de energia gerada mensalmente pelo SFV seria de 888,9 kWh, anualmente, esse sistema geraria cerca de 10.666,8 kWh.

Tabela 13 - Energia gerada diariamente.

Opções de configuração	Quantidade aproximada de módulos	Energia gerada pelo sistema (kWh)	Energia com perdas (kWh)
I	8	18,51	17,78
II	8	18,97	18,22
III	9	20,05	19,26
IV	9	21,48	20,63
V	10	23,14	22,22
VI	11	24,93	23,95
VII	12	28,81	27,67
VIII	13	30,85	29,63

Fonte: Elaboração própria, (2021).

O resultado quanto à geração de energia diária com perdas indica o quão viável tecnicamente a proposta é para suprir o consumo das áreas comuns do residencial. Ao observar as perdas dos diferentes arranjos propostos, nota-se um pequeno aumento de sistema para sistema. A média entre esse aumento é de 1,69, o que é baixo comparado com as diferentes configurações do sistema. Esse resultado pode ser justificado por ser um sistema pequeno, que possuem perdas menores de energia.

Outra perspectiva quanto as perdas é de que, em todas as configurações adotou-se uma única inclinação, para Rütther (2004) a posição adequada dos painéis evita perdas significativas no SFV. No estudo realizado por Pestana (2019), características físicas do local como sombreamento causados por vegetação ou outras construções, sujeira e degradação dos módulos interferem quanto a quantidade de perdas do

sistema. Como esse dimensionamento foi realizado sem considerar degradações e sujeira, pois estes aspectos são ocasionados ao longo tempo, estes não influenciaram quanto as perdas, assim como sombreamento, visto que o edifício está localizado em uma área sem sombras naturais e sem elementos que proporcionam isto.

Os projetos fotovoltaicos devem seguir normas quanto sua estrutura. Devem contar com módulos fotovoltaicos, inversor, *string box* e cabeamentos. Assim sendo, o projeto fotovoltaico para o edifício residencial, terá 13 módulos fotovoltaicos ligados em série e não haverá arranjos em paralelos, já que essa configuração foi proposta para somente uma ligação paralelo.

A Figura 27 é uma simulação do eventual sistema. Os módulos serão ligados através de uma única entrada no inversor. Outros componentes como um *String Box*, fios e estrutura metálica também irão compor o projeto fotovoltaico.

Figura 26 - Possível Configuração do SFV.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

O modelo de *string box* escolhido foi CS/GI//CS-GI-DCBOX-11E2 da marca Canadian, que acompanha fusíveis e Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS). O *string box* irá ficar na parte interna do edifício. Foi preciso utilizar estruturas metálicas de suporte para que os módulos pudessem ser instalados no telhado do edifício.

Outro componente do SFV utilizado foram os cabos de fiação que ligam as placas fotovoltaicas ao inversor e à *string box*.

4.2 Estudo da viabilidade econômica para o uso de sistemas de painéis fotovoltaicos

Quanto à viabilidade econômica de um projeto de energia solar, pode-se discutir em base a resultados, dados e estudos uma série de fatores, como a economia quanto ao não uso do Sistema Interligado Nacional (SIN) e comparações com opções reais de investimentos utilizando a variável TIR como base.

Em relação ao SIN, com a instalação de uma micro usina de geração fotovoltaica, não há necessidade o uso do sistema de transmissão elétrica. Um sistema complexo como pode ser percebido na Figura 28 e de alto investimento. O estudo realizado pelo EPE (2018), afirma que o SIN em 2016 possuía 134.956 km de linhas de transmissão e a projeção para 2026 é que expanda para 196.839 km, e que, o custo desta expansão seja de R\$ 118, 8 bilhões com uma média anual de 12 bilhões por ano.

É importante ressaltar que a instalação precisa ser feita por profissionais qualificados e com experiência nessa área e que não é recomendável de forma alguma que instalações de painéis fotovoltaicas sejam feitas por leigos, assim sendo, é necessário contratar uma empresa de engenharia de confiança e capacitada neste ramo. No orçamento, o custo está descrito na Tabela 14 abaixo como “Projeto de Engenharia e documentação”, os valores foram obtidos com uma empresa local que disponibiliza orçamentos para futuros clientes. A linha “Manutenção” também foi baseada em valores fornecidos pela mesma empresa.

Tabela 14 - Orçamento Projeto Fotovoltaica

Equipamento	Quantidade	Preço R\$	
		Unitário	Total
Módulo	13	915,00	11895,00
Inversor	1	5.988,95	5.988,95
String Box	1	799,00	799,00
Estruturas Metálicas	13	180,00	2340,00
Cabos Elétricos, conexões e etc.	1	800,00	800,00
Projeto de engenharia e documentação	1	1000,00	1000,00
Manutenção	1	6.000,00	6.000,00
TOTAL (R\$)			28.822,95

Fonte: Elaboração própria, (2021).

O edifício residencial em estudo pertence ao Grupo B, referente à cobrança tarifária, possui sistema de geração trifásico, logo sua taxa mínima de consumo é 100 kWh. Esses dados significam que, mesmo com a minigeração fotovoltaica capaz de atender à demanda energética, a cobrança de luz da concessionária não será igual zero e terá seu custo mínimo cobrado, como já discutido anteriormente. Nesse caso, a cobrança mínima realizada pela distribuidora local será de R\$ 62,00 kWh, considerando R\$ 0,62 o valor da tarifa cobrado pela CEMIG.

Considerando a vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos para as placas fotovoltaicas, e o aumento anual estipulado da tarifa de energia elétrica, os resultados apresentados na Tabela 15 indicam que o investimento resultaria em um *payback* de 3 anos e 3 meses, ou seja, o investimento geraria receita por mais 21 anos e 7 meses

Tabela 15 - Análise Econômica do SFV.

ANO	Tarifa de Energia (R\$)	CONTA SEM ENERGIA SOLAR (R\$)	CONTA COM ENERGIA SOLAR (R\$)	ECONOMIA MENSAL (R\$)	ECONOMIA ANNUAL (R\$)	SALDO ANNUAL (R\$)
1	0,87	770,44	106,28	664,16	7969,95	-18565
2	0,88	782,29	107,68	674,61	8095,32	-10469,68
3	0,9	794,34	109,12	685,23	8222,71	-2246,97
4	0,91	806,59	110,57	696,01	8352,17	6105,2
5	0,93	780,48	112,05	668,43	8021,13	14126,34
6	0,94	831,67	113,55	718,12	8617,42	22743,76
7	0,96	844,52	115,08	729,44	8753,28	31497,03
8	0,97	857,58	116,63	740,94	8891,33	40388,37
9	0,99	870,85	118,21	752,64	9031,63	49419,99
10	1,01	884,33	119,81	764,52	9174,19	58594,18
11	1,02	898,03	121,44	776,59	9319,07	67913,25
12	1,04	911,95	123,1	788,86	9466,29	77379,54
13	1,06	926,1	124,78	801,32	9615,89	86995,43
14	1,07	940,48	126,49	813,99	9767,92	96763,35
15	1,09	955,09	128,23	826,87	9922,42	106685,77
16	1,11	969,94	129,99	839,95	10079,41	116765,19
17	1,13	985,03	131,78	853,25	10238,95	127004,14
18	1,14	1000,36	133,61	866,76	10401,08	137405,22
19	1,16	1015,94	135,46	880,49	10565,83	147971,04
20	1,18	1031,78	137,34	894,44	10733,25	158704,29
21	1,2	1047,87	139,25	908,61	10903,38	169607,67
22	1,22	1064,22	141,2	923,02	11076,27	180683,94
23	1,24	1080,84	143,17	937,66	11251,95	191935,89
24	1,26	1097,72	145,18	952,54	11430,49	203366,38
25	1,28	1114,88	147,22	967,66	11611,92	214978,3
Total						R\$2.275.752,62

Fonte: Elaboração Própria, 2021, (2021).

Conforme já apontado, os resultados das variáveis econômicas determinam a rentabilidade financeira do projeto. Os resultados das premissas do presente trabalho estão descritos na Tabela 15. De acordo com os valores encontrados para o VPL, TIR, taxa de lucratividade e o *payback*, foi possível concluir que o SFV proposto é viável economicamente.

Tabela 16 - Viabilidade Econômica

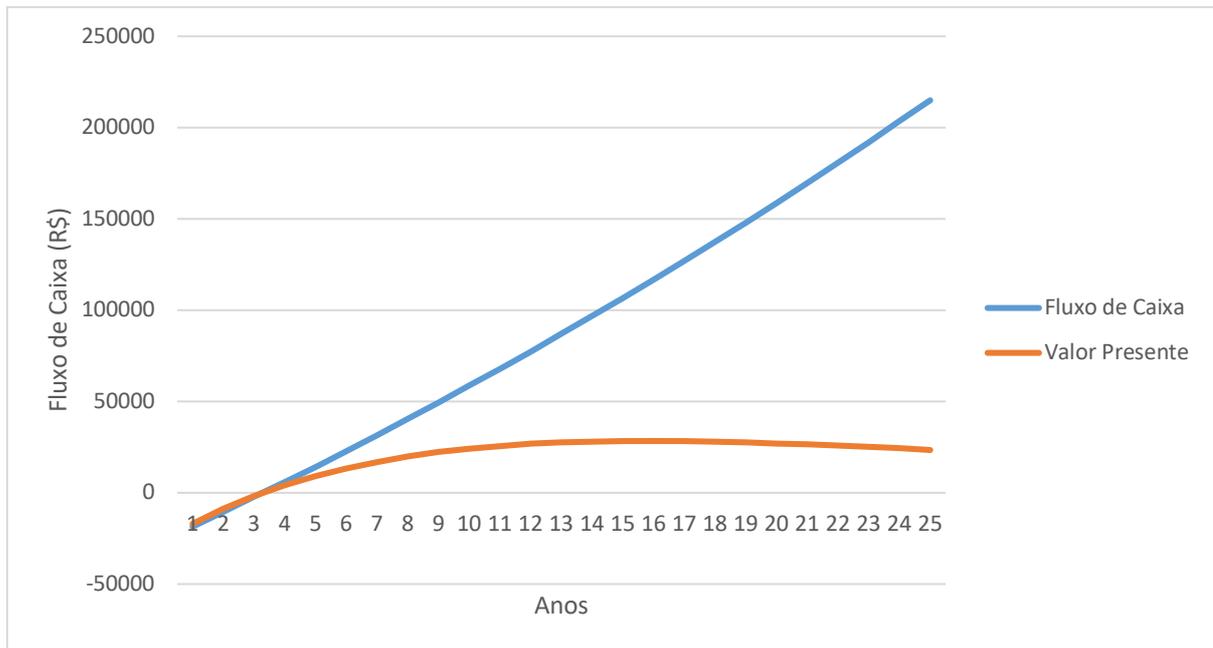
VPL do Projeto	R\$ 464.693,04
Taxa Interna de Retorno (TIR)	44,88%
Taxa de Lucratividade	0,87
Tempo de <i>Payback</i>	3 anos e 3 meses

Fonte: Elaboração própria, (2021).

O Valor Líquido Presente foi calculado adotando a Taxa Selic de 9,25% segundo o Banco Central, 2021. Como discutido no tópico Revisão Bibliográfica, o VPL para ser viável tem de seguir dois parâmetros. O primeiro é ser positivo e maior que 0. Seguindo essa primeira condição, o VPL calculado, de R\$ 464.693,04 atende ao projeto. O segundo parâmetro é ser um valor relativo ao projeto. O VPL foi cerca de 16 vezes maior que à aplicação inicial. Se fosse considerada apenas essa variável para a análise da rentabilidade, o projeto já poderia ser determinado como viável e agrega valor ao consumidor final, pois obedece às duas condições de existência para o VPL.

Relacionando o VPL encontrado para os 25 anos e o fluxo de caixa do trabalho-Tabela 16 - o gráfico da Figura 22, expõem uma relação de similaridade até pouco mais de 3 anos. Porém após esse período, percebe-se que com o aumento do fluxo de caixa a VPL se mantém com certa linearidade. Isso pode ser justificado pelo fato dessa variável ser representada por um valor único usado na totalidade do sistema.

Figura 28 - Fluxo de Caixa vs. VPL.



Fonte: Elaboração própria, (2022).

A similaridade do fluxo de caixa e do VPL até os 3 anos e alguns meses exposto no gráfico acima, representa também que a VPL nesse caso, conseguiu de prever em quanto tempo o projeto começaria a ofertar retorno. Mesmo com os resultados apresentados, o VPL consegue fazer comparações com outros investimentos, por isso foi necessário, a partir dos resultados obtidos, o cálculo de outras variáveis.

A TIR foi outra variável calculada do sistema de modo que, com o resultado obtido comparou-se com investimentos reais disponíveis no mercado financeiro brasileiro. O valor encontrado com os dados do projeto foi de 44,8%. A taxa de retorno desse investimento é uma taxa atraente visto que qualquer investimento não renderia esse valor.

Frequentemente, utiliza-se para comparar os resultados da TIR com investimentos como a poupança, CDB e títulos do Tesouro Direto, investimentos mais comuns no Brasil. No momento atual o país apresenta diferentes taxas de rentabilidade para os mencionados investimentos e seguem conforme a taxa Selic.

Os investimentos em poupança são os mais populares e usados por brasileiros que querem investir seu capital sem correr altos riscos. Segundo o Banco Central (2022) a rentabilidade mensal da poupança pode ser considerada 0,5% ao mês, com

um montante anula de cerca de 6,20 ao ano. Através do resultado do investimento inicial obtidos no trabalho, e comparando que se esse fosse aplicado na poupança temos que o valor obtido em juros no final dos 25 anos será de R\$ 99.846, 98. A Tabela 17 indica detalhadamente as variáveis do possível rendimento utilizando a poupança e a Figura 30 indica graficamente o rendimento da poupança.

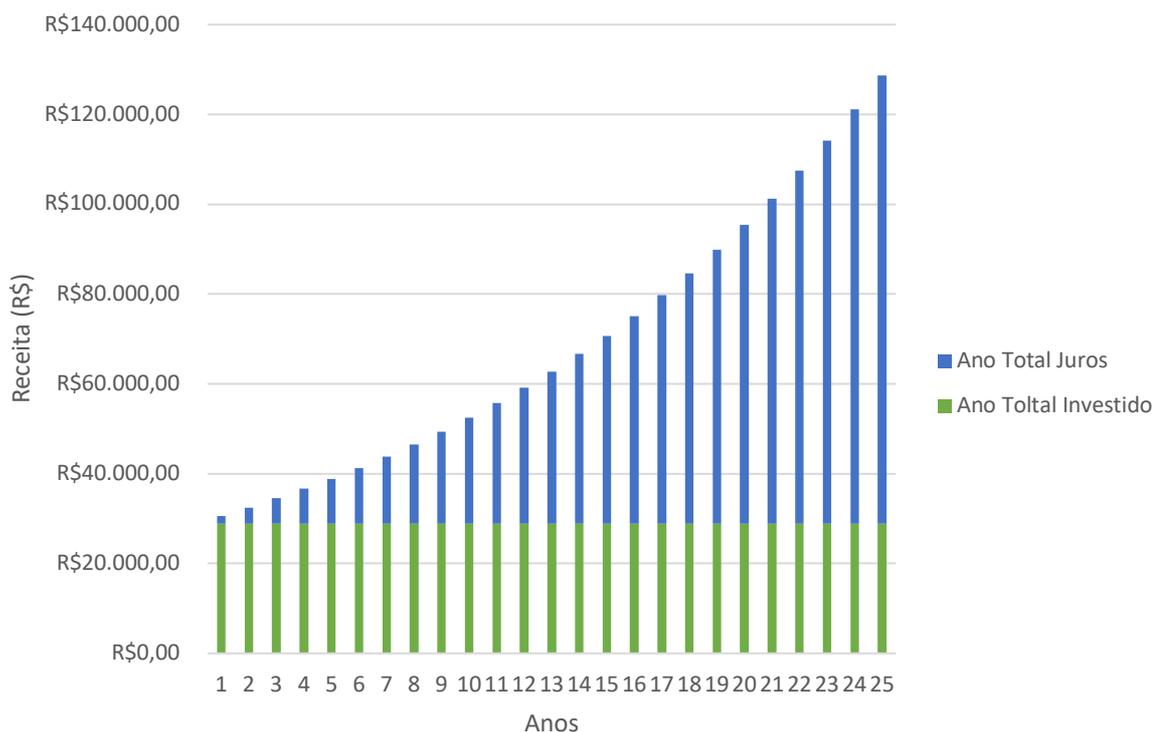
Tabela 17 - Simulação Investimento Poupança.

Ano	Juros	Total Investido	Total Juros	Total Acumulado
0	--	R\$28.822,95	--	R\$28.822,95
1	R\$1.777,51	R\$28.822,95	R\$1.777,51	R\$30.600,46
2	R\$1.887,13	R\$28.822,95	R\$3.664,64	R\$32.487,59
3	R\$2.003,51	R\$28.822,95	R\$5.668,15	R\$34.491,10
4	R\$2.127,07	R\$28.822,95	R\$7.795,22	R\$36.618,17
5	R\$2.258,24	R\$28.822,95	R\$10.053,46	R\$38.876,41
6	R\$2.397,51	R\$28.822,95	R\$12.450,97	R\$41.273,92
7	R\$2.545,36	R\$28.822,95	R\$14.996,33	R\$43.819,28
8	R\$2.702,34	R\$28.822,95	R\$17.698,67	R\$46.521,62
9	R\$2.868,99	R\$28.822,95	R\$20.567,65	R\$49.390,60
10	R\$3.045,92	R\$28.822,95	R\$23.613,57	R\$52.436,52
11	R\$3.233,76	R\$28.822,95	R\$26.847,33	R\$55.670,28
12	R\$3.433,19	R\$28.822,95	R\$30.280,52	R\$59.103,47
13	R\$3.644,91	R\$28.822,95	R\$33.925,43	R\$62.748,38
14	R\$3.869,69	R\$28.822,95	R\$37.795,12	R\$66.618,07
15	R\$4.108,34	R\$28.822,95	R\$41.903,46	R\$70.726,41
16	R\$4.361,70	R\$28.822,95	R\$46.265,16	R\$75.088,11
17	R\$4.630,68	R\$28.822,95	R\$50.895,84	R\$79.718,79
18	R\$4.916,26	R\$28.822,95	R\$55.812,10	R\$84.635,05
19	R\$5.219,44	R\$28.822,95	R\$61.031,54	R\$89.854,49
20	R\$5.541,33	R\$28.822,95	R\$66.572,87	R\$95.395,82
21	R\$5.883,06	R\$28.822,95	R\$72.455,93	R\$101.278,88
22	R\$6.245,87	R\$28.822,95	R\$78.701,80	R\$107.524,75
23	R\$6.631,05	R\$28.822,95	R\$85.332,85	R\$114.155,80
24	R\$7.039,99	R\$28.822,95	R\$92.372,84	R\$121.195,79
25	R\$7.474,14	R\$28.822,95	R\$99.846,98	R\$128.669,93

Fonte: Elaboração própria a partir de Mobilis, (2022).

Comparando os resultados obtidos, compreende-se que investir em energia solar, neste caso é mais viável do que o investimento em poupança fixa. Uma vez que, o total acumulado na poupança durante os 25 anos é inferior que se o SFV fosse instalado no residencial.

Figura 29 - Rendimento Poupança.



Fonte: Elaboração própria a partir de Mobilis (2022).

A poupança apresentou um rendimento baixo visto ao capital investido e ao tempo de permanência, ainda considerando a taxa de inflação de 10,38% (IBGE) a rentabilidade da caderneta de poupança é ainda menos vantajosa, visto que a rentabilidade é menor que a inflação, o risco de perder poder de compra ao longo dos anos com rendimento é maior. Comparando a análise financeira do SFV com a poupança nos cenários descritos acima de inflação, tempo de permanência do investimento e montante de juros, o uso da energia solar é o mais indicado.

Outra categoria de investimento comum no Brasil são os empréstimos que a população faz aos bancos, o CDB, que usualmente rende mais que a caderneta de

poupança. Com rentabilidade de 11,44% (Banco Central, 2022) quase o dobro da poupança, o investimento ao CDB com o valor inicial do investimento conseguiria render ao edificio residencial um valor de R\$ 403.457,92 no tempo de vida útil do projeto, como mostra a Tabela 18.

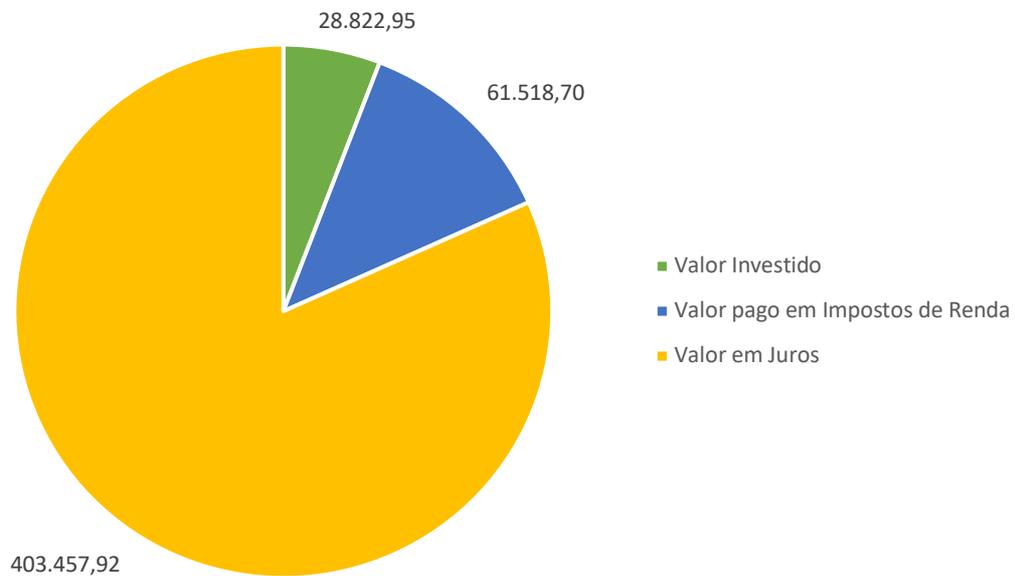
Tabela 18 - Simulação Investimento CDB.

Ano	Juros	Total Investido	Total Juros	Total Acumulado
--	--	R\$28.822,95	--	R\$28.822,95
1	R\$3.297,35	R\$28.822,95	R\$3.297,35	R\$32.120,30
2	R\$3.674,56	R\$28.822,95	R\$6.971,91	R\$35.794,86
3	R\$4.094,93	R\$28.822,95	R\$11.066,84	R\$39.889,79
4	R\$4.563,39	R\$28.822,95	R\$15.630,23	R\$44.453,18
5	R\$5.085,44	R\$28.822,95	R\$20.715,67	R\$49.538,62
6	R\$5.667,22	R\$28.822,95	R\$26.382,89	R\$55.205,84
7	R\$6.315,55	R\$28.822,95	R\$32.698,44	R\$61.521,39
8	R\$7.038,05	R\$28.822,95	R\$39.736,49	R\$68.559,44
9	R\$7.843,20	R\$28.822,95	R\$47.579,69	R\$76.402,64
10	R\$8.740,46	R\$28.822,95	R\$56.320,15	R\$85.143,10
11	R\$9.740,37	R\$28.822,95	R\$66.060,52	R\$94.883,47
12	R\$10.854,67	R\$28.822,95	R\$76.915,19	R\$105.738,14
13	R\$12.096,44	R\$28.822,95	R\$89.011,63	R\$117.834,58
14	R\$13.480,28	R\$28.822,95	R\$102.491,91	R\$131.314,86
15	R\$15.022,42	R\$28.822,95	R\$117.514,33	R\$146.337,28
16	R\$16.740,98	R\$28.822,95	R\$134.255,32	R\$163.078,27
17	R\$18.656,15	R\$28.822,95	R\$152.911,47	R\$181.734,42
18	R\$20.790,42	R\$28.822,95	R\$173.701,89	R\$202.524,84
19	R\$23.168,84	R\$28.822,95	R\$196.870,73	R\$225.693,68
20	R\$25.819,36	R\$28.822,95	R\$222.690,08	R\$251.513,03
21	R\$28.773,09	R\$28.822,95	R\$251.463,18	R\$280.286,13
22	R\$32.064,73	R\$28.822,95	R\$283.527,91	R\$312.350,86
23	R\$35.732,94	R\$28.822,95	R\$319.260,85	R\$348.083,80
24	R\$39.820,79	R\$28.822,95	R\$359.081,63	R\$387.904,58
25	R\$44.376,28	R\$28.822,95	R\$403.457,92	R\$432.280,87
Imposto de renda sobre rentabilidade			R\$60.518,69	--
Valor total líquido			--	R\$371.762,18

Fonte: Elaboração própria a partir de Mobilis (2022).

Comparando o resultado da rentabilidade do CDB com o da poupança, o CDB possui mais de 100% de lucratividade. Entretanto, utilizando os resultados do presente trabalho com a resposta do CDB o investimento solar é ainda mais viável.

Figura 30 - Investimento Inicial, Imposto de Renda e Juros no CDB.



Fonte: Elaboração própria a partir de Mobilis (2022).

Outro aspecto quanto ao CDB, é a obrigatoriedade de declarar imposto de renda, o gráfico da Figura 31, mostra que, para o valor do investimento do SFV, se investido em CDB, o valor total em declaração de Imposto de Renda dos 25 anos seria de R\$61.518, 70. Independentemente de haver ou não o resgate do investimento inicial o CDB obriga o usuário a mencioná-lo na declaração. Característica esta que não existe nos empreendimentos fotovoltaicos. O edifício residencial em estudo ao investir em SFV não precisaria declarar imposto de renda quanto ao sistema e, portanto, não haveria um custo adicional.

O último investimento real a ser comparado é o Tesouro Direto (TD). Esse investimento é considerado de alta segurança, pois o governo é o responsável pelo crédito. O título escolhido é o tesouro IPCA+, que segundo o Tesouro Nacional (2022) é indicado para investimentos de longo prazo e possui uma rentabilidade aproximada de 21,42% anual. O resultado para essa aplicação, considerando o valor investido no SFV para os 25 anos, é de um valor líquido total de R\$ 3.140.590,72. O resultado da aplicação no TD está na Tabela 19.

Tabela 19 - Simulação Investimento Tesouro Direto

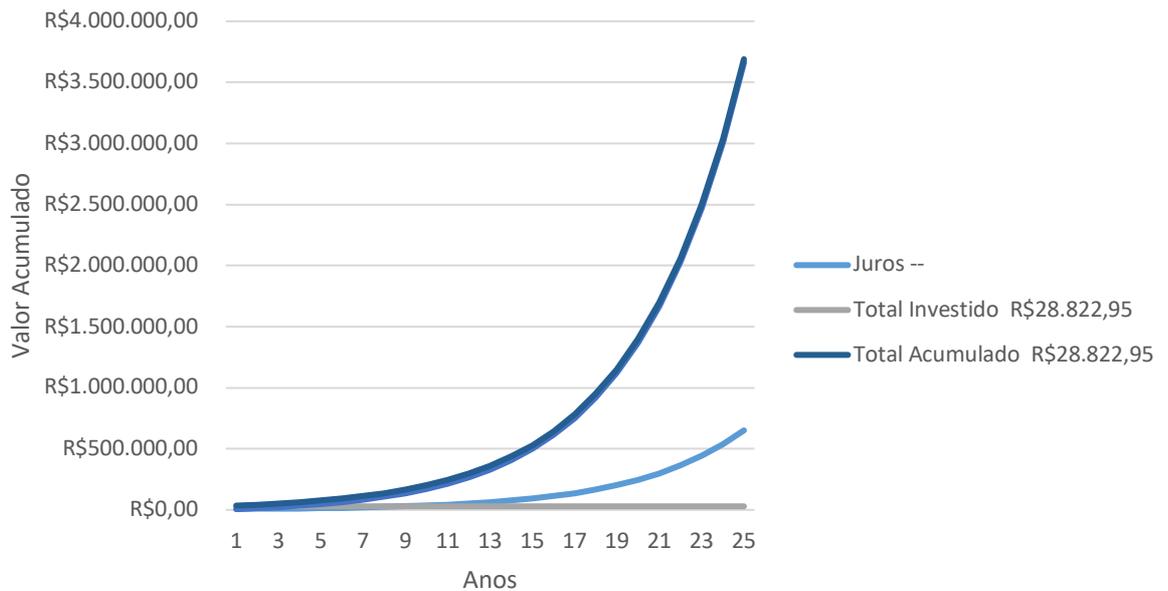
Ano	Juros	Total Investido	Total Juros	Total Acumulado
--	--	R\$28.822,95	--	R\$28.822,95
1	R\$6.173,88	R\$28.822,95	R\$6.173,88	R\$34.996,83
2	R\$7.496,32	R\$28.822,95	R\$13.670,20	R\$42.493,15
3	R\$9.102,03	R\$28.822,95	R\$22.772,23	R\$51.595,18
4	R\$11.051,69	R\$28.822,95	R\$33.823,91	R\$62.646,86
5	R\$13.418,96	R\$28.822,95	R\$47.242,87	R\$76.065,82
6	R\$16.293,30	R\$28.822,95	R\$63.536,17	R\$92.359,12
7	R\$19.783,32	R\$28.822,95	R\$83.319,50	R\$112.142,45
8	R\$24.020,91	R\$28.822,95	R\$107.340,41	R\$136.163,36
9	R\$29.166,19	R\$28.822,95	R\$136.506,60	R\$165.329,55
10	R\$35.413,59	R\$28.822,95	R\$171.920,19	R\$200.743,14
11	R\$42.999,18	R\$28.822,95	R\$214.919,37	R\$243.742,32
12	R\$52.209,61	R\$28.822,95	R\$267.128,98	R\$295.951,93
13	R\$63.392,90	R\$28.822,95	R\$330.521,88	R\$359.344,83
14	R\$76.971,66	R\$28.822,95	R\$407.493,54	R\$436.316,49
15	R\$93.458,99	R\$28.822,95	R\$500.952,53	R\$529.775,48
16	R\$113.477,91	R\$28.822,95	R\$614.430,44	R\$643.253,39
17	R\$137.784,88	R\$28.822,95	R\$752.215,32	R\$781.038,27
18	R\$167.298,40	R\$28.822,95	R\$919.513,72	R\$948.336,67
19	R\$203.133,71	R\$28.822,95	R\$1.122.647,43	R\$1.151.470,38
20	R\$246.644,96	R\$28.822,95	R\$1.369.292,38	R\$1.398.115,33
21	R\$299.476,30	R\$28.822,95	R\$1.668.768,69	R\$1.697.591,64
22	R\$363.624,13	R\$28.822,95	R\$2.032.392,82	R\$2.061.215,77
23	R\$441.512,42	R\$28.822,95	R\$2.473.905,24	R\$2.502.728,19
24	R\$536.084,38	R\$28.822,95	R\$3.009.989,61	R\$3.038.812,56
25	R\$650.913,65	R\$28.822,95	R\$3.660.903,26	R\$3.689.726,21
Imposto de renda sobre rentabilidade			R\$549.135,49	--
Valor total líquido			--	R\$3.140.590,72

Fonte: Elaboração própria (2022).

Quando comparado com a poupança e CDB, é inconfundível o quão o tesouro direto é mais vantajoso para esse valor de investimento e tempo de retorno. Quando comparado com a rentabilidade financeira desse projeto, o resultado do TD mostrou

mais atrativo. O gráfico da Figura 32 mostra que com a simulação do TD que o investimento renderia formando uma curva exponencial, o que economicamente analisado, é algo muito rentável.

Figura 31 - Rendimento Tesouro Direto.



Fonte: Elaboração própria a partir de Mobilis (2022).

Entretanto, pode discutir que ao investir no TD a rentabilidade é diretamente ligada a taxas como Selic e o IPCA e que em crises econômicas esta rentabilidade pode ser reduzida, característica que um SFV não corre risco. Além disso, investimentos em sistemas solares agregam valor ao empreendimento e são de caráter sustentáveis.

Importante ressaltar, na análise da viabilidade financeira do projeto não foi considerado os créditos vendidos da energia excedente à concessionária, isto implicaria em um ganho a mais ao sistema e, conseqüentemente, geraria mais lucratividade para o edifício. Também não foi considerado possíveis ganhos com a reciclagem dos painéis ao final do tempo de vida útil.

4.3 Análise das emissões de CO₂

O uso de energias renováveis é conhecido principalmente pelos baixos impactos ambientais e baixas emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. A implementação desse tipo de energia no edifício residencial traria, não apenas ganhos financeiros, como também agregaria valor sustentável ao empreendimento.

Segundo BEN (2021), o setor residencial emitiu no ano de 2020 cerca de 19,4 Mt CO₂ -eq. Assim o uso, de energia solar em residências evitaria esse índice de emissão, em razão de a quantidade lançada de dióxido de carbono, comparada a fontes convencionais de energia é menor.

Os resultados do referente estudo quanto à emissão de CO₂ foram encontrados a partir de estimativas realizados pelo *software* utilizado. Os resultados estão apresentados na Tabela 20. Percebe-se que, com a instalação do projeto fotovoltaico na área de estudo, evitaria a emissão de 1.331 t de CO₂ e desmatamento de 3 árvores ao ano, resultado satisfatório quanto ao cenário ambiental.

Tabela 20 – Emissão de CO₂

	Sem Painéis Fotovoltaicos	Com Painéis Fotovoltaicos
Emissão CO ₂ (t/ano)	1,539	0,208
Compensação de árvores (ano)	4	1

Fonte: Elaboração própria a partir de Idesam (2021).

O resultado encontrado, diz respeito que, este projeto atende a viabilidade ambiental, visto que haveria uma redução de cerca de 73% de emissões de CO₂. Para a autora Cucchiella et al. (2012) a produção de 1kWh de energia elétrica por meios convencionais consegue emitir cerca de 0,53 kg de CO₂. Para a autora, a utilização de energia solar evita que essa quantidade seja emitida para a atmosfera.

Apesar de resultados promissores quanto à viabilidade ambiental, existe uma deficiência em relação ao desenvolvimento da prática de licenciamento ambiental para empreendimentos fotovoltaicos. Um estudo realizado por Cordeiro (2019), a autora

defende que diretrizes e normas para licenciamento de práticas de energia solar poderiam aprimorar os estudos ambientais quanto à temática. Durante o presente estudo de caso, não houve necessidade de fazer qualquer solicitação de estudos de impacto ambiental, o que demonstra, a necessidade de aperfeiçoamento nesse processo.

Os resultados deste trabalho não consideraram a cadeia de produção das placas solares utilizadas. Como exposto no referencial teórico, esse processo está atrelado a maiores impactos ambientais devido à extração e refino do silício. O estudo realizado por Stoppato (2006) revela que o processo de extração do silício até ele se tornar um potencial gerador de energia solar, utiliza de fontes de energia emissoras de CO₂, além disso, o autor aborda as diferentes pegadas de carbono para distintos países, em que, as matrizes energéticas diferem entre si. No estudo do referido o autor, são expostos os dados estimados de pegada de carbono, consumo de energia e CO₂ produzido no processo de fabricação de um painel solar da marca Canadian, mesma fabricante utilizada no presente o trabalho, os resultados estão na Tabela 21.

Tabela 21 - Países e suas pegadas de CO₂, Energia Consumida e CO₂ gerado pela fabricação de placa fotovoltaica

Nação	Pegada de CO ₂ (kgCO ₂ /kWh)	Energia Consumida (kWh)	CO ₂ gerado (kg CO ₂)
Alemanha	0,573	722	413,7
Austrália	0,840	722	606,5
Brasil	0,104	722	75,1
Canadá	0,244	722	176,2

Fonte: Elaboração própria adaptado de Stoppato (2022).

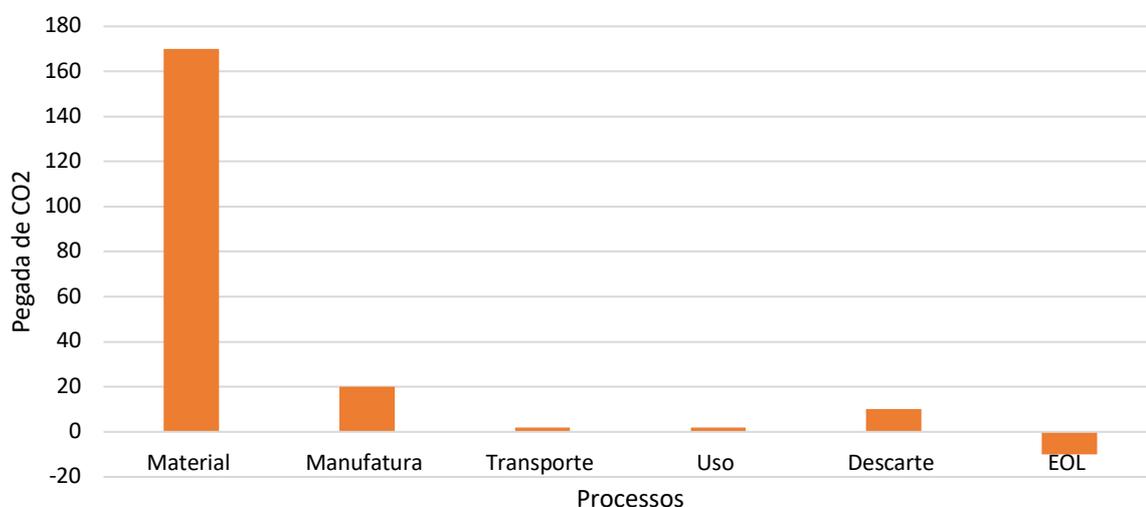
Nota-se que dentre os países citados, o Brasil é o país que geraria menos CO₂ no processo de fabricação. Esse resultado pode ser explicado por o Brasil possuir uma matriz elétrica predominantemente renovável, já que cerca de 65,2% da matriz é de fonte hidráulica (BEM, 2021). Apesar disso, o Brasil não domina a fabricação de

tecnologias para sistemas fotovoltaicos, mesmo possuindo, segundo o estudo feito pela Agência de Mapeamento Geológico dos Estados Unidos, as maiores reservas de silício do mundo. Mais uma vez, esses dados mostram o quão necessário e importante é o estudo e investimentos na ampliação da cultura solar fotovoltaica no Brasil. Visto que, uma vez que o país investisse nessa tecnologia e fizesse de forma socioambiental corretamente, se tornaria líder mundial e exemplo de tecnologia e sustentabilidade.

Correlacionando a pesquisa de Stoppato (2022) com o SFV proposto, o resultado para de emissão da fabricação das 13 placas necessárias para suprir a demanda do residencial, seria de 976.3 kg de CO₂. A emissão do sistema em operação, excluindo o processo de produção resultou, como discutido anteriormente, 208.000 kg de CO₂ (0,208 toneladas) por ano. Considerando a vida útil das placas de 25 anos, podemos adotar para cada ano a geração de 39.05 kg de CO₂. Logo o resultado de emissão de dióxido de carbono para o SFV é de 247.05 kg por ano.

Valle (2019), expõem em seu trabalho, as diferentes emissões de CO₂ para distintas fases dos ciclos de vida para a produção de uma placa fotovoltaica. Através de sua pesquisa, foi possível perceber, outra vez que, a maior parte de emissões de CO₂ no processo de energia solar está na etapa material como mostra a Figura 33.

Figura 32 - Gráfico Fases de Vida da Produção de Placa Fotovoltaica.



Fonte: Elaboração própria adaptado de Valle, 2022.

Embora, inúmeras pesquisas expõem como o processo de produção sendo o mais poluente, os resultados deste trabalho apontam que, comparando com o sistema convencional de energia elétrica proveniente de distribuidoras de eletricidade, a emissão de poluentes advindos da produção material mais as emissões durante o processo de operação é consideravelmente menor. Por consequência, a energia solar, neste estudo de caso é viável ambientalmente, porém um estudo de análise de vida pretendendo aprimorar os impactos ambientais é interessante para identificar melhor os impactos ambientais.

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é essencial para qualificar impactos ambientais provocados nos processos de fabricação dos módulos fotovoltaicos. Takii (2019), considerou em sua pesquisa, o ACV desde a extração da matéria-prima até o uso e descarte final dos módulos fotovoltaicos. O resultado do seu estudo foi que, comparando a ACV dos módulos quanto a diferentes descartes, aterro e reciclagem, a disposição final em aterro gera impacto ambiental de aproximadamente 7% a mais que fazendo a reciclagem. Em sua pesquisa, a autora verificou que o ciclo de vida de um painel apresenta impactos como efeitos respiratórios de compostos inorgânicos, alto uso de energia provenientes de fontes não renováveis e lançamento de gases de efeito estufa.

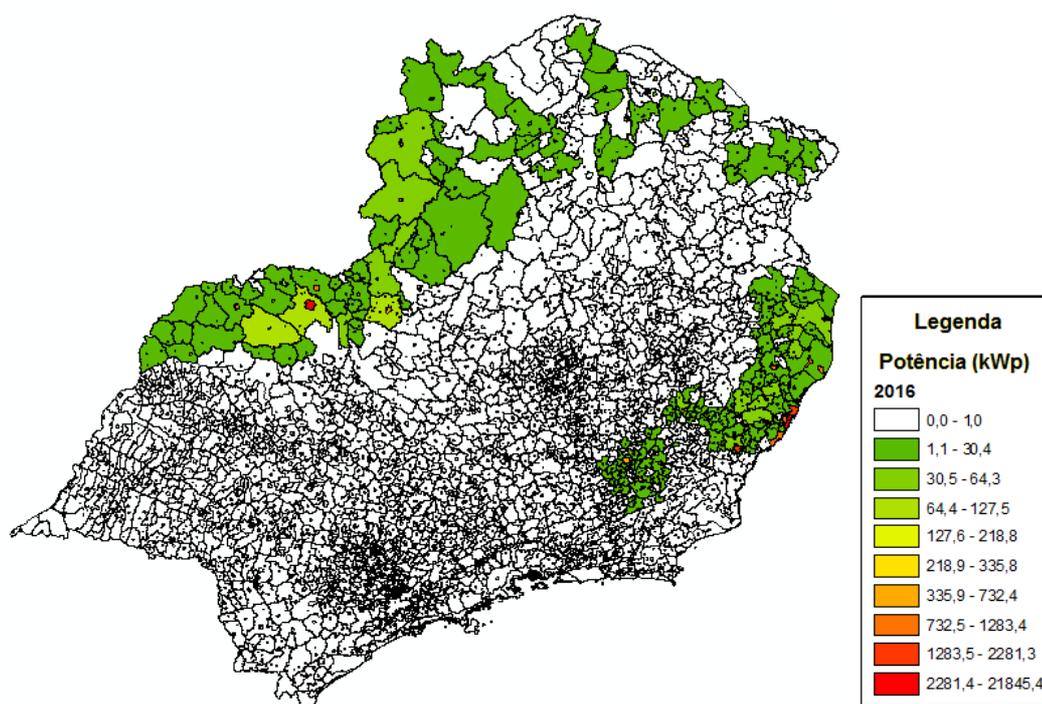
No presente projeto, o tempo de vida adotado do sistema foi de 25 anos. É interessante propor ao presente projeto, destinação correta ao final da vida útil dos módulos fotovoltaicos para ocorrer mitigação dos impactos ambientais do uso de energia solar. Segundo o estudo de Weckend (2016) até o ano 2030, a receita total para a recuperação de reciclagem dos módulos pode gerar 450 milhões de dólares. Logo, além da reciclagem ser uma estratégia sustentável, é também uma forma viável economicamente, essa receita conseguiria produzir 60 milhões de novos módulos fotovoltaicos. Esse comportamento faz parte do conceito de economia circular, uma medida ambientalmente que vem sendo utilizada em grandes empreendimentos.

4.4 Análise do uso de energia fotovoltaica *on-grid* em um edifício residencial localizado em um centro urbano no estado de Minas Gerais

Com os resultados obtidos sobre o dimensionamento, viabilidade técnica e econômica e análise ambiental do uso de energia fotovoltaica em um edifício residencial localizado no centro urbano de Belo Horizonte no estado de Minas Gerais, realizou-se um estudo possibilitando averiguar o potencial de geração de energia solar pelo setor residencial no estado de Minas Gerais.

Para Miranda (2021), a região Sudeste do Brasil iniciou com seu potencial de geração no ano de 2016. As áreas urbanas da cidade Uberlândia e cidades vizinhas como Araguari, Patrocínio e Ituiutaba foram os primeiros municípios a terem maior potência instalada em Minas Gerais, como mostra a Figura 34. Cidades estas que estão localizadas no norte de Minas Gerais, região com alta irradiação solar característica esta, como já discutido no referencial teórico, importante para a geração de energia solar. Entretanto, todo o estado mineiro possui alta possibilidade de geração dessa fonte de energia.

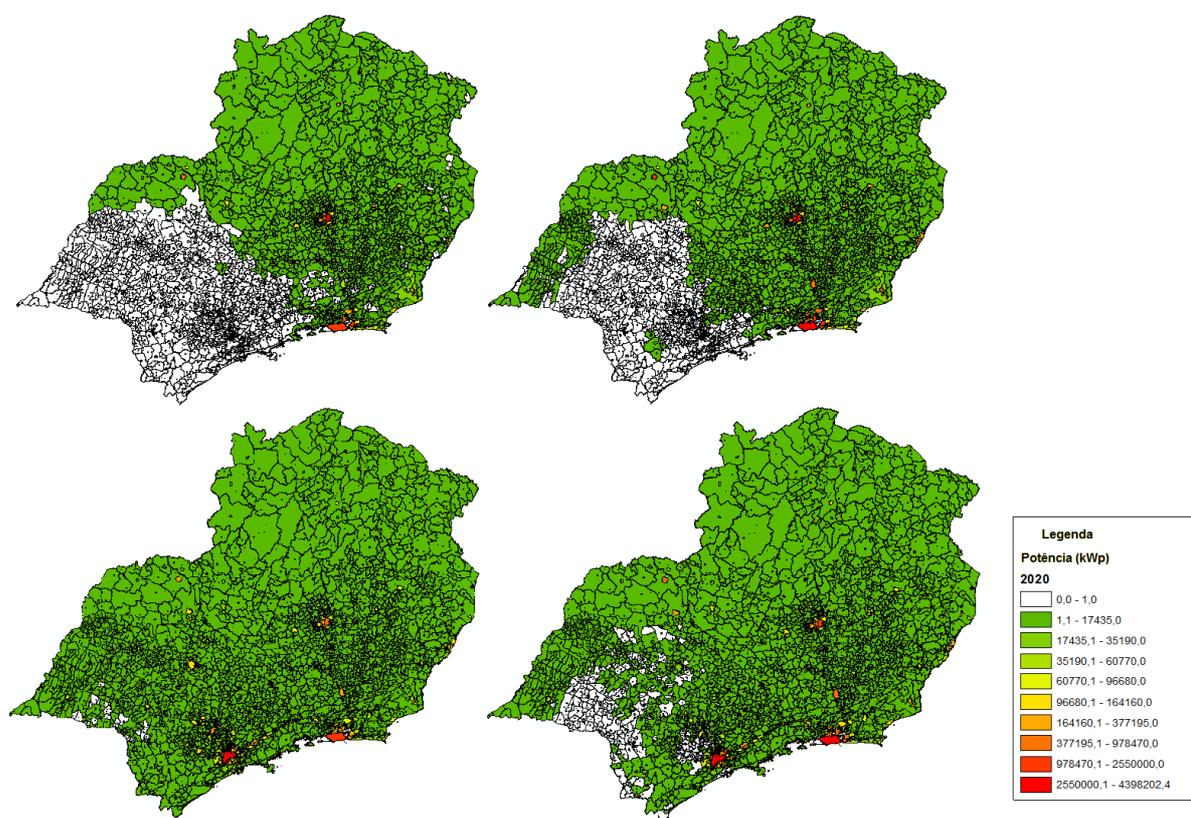
Figura 33 - Potencial Região Sudeste em 2016.



Fonte: Miranda (2021).

O presente trabalho buscou mostrar o quão viável tecnicamente um projeto fotovoltaico atenderia a demanda de um residencial localizado em uma zona urbana na cidade de Belo Horizonte, que está localizada na região central do estado. Os resultados encontrados mostraram notoriamente que este atenderia o objetivo. Com esse resultado e relacionando a pesquisa de Miranda (2021), percebe-se que o aumento da inserção de fonte de energia solar no estado de Minas Gerais em centros urbanos e rurais é justificável pela sua alta potencialidade de geração.

Figura 34 - Evolução da inserção na Região Sudeste, em sentido horário, em relação aos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020.



Fonte: Miranda (2021).

A Figura 35, mostra a evolução até o ano de 2020 de toda a região Sudeste. É possível perceber que durante os 4 anos o uso desta fonte de energia foi se espelhando por toda a região. Miranda (2021) afirma que as principais cidades que tiveram inserção em 2018 foram Belo Horizonte e Rio de Janeiro, e em 2020 o montante das 10 principais cidades com maior potencial de geração da Região

Sudeste - a capital mineira está entre estas cidades - foi capaz de gerar cerca de 16TWh de energia solar anualmente. Mesmo a CEMIG possuindo uma das menores taxas tarifárias do Brasil, repara-se que a preferência por energia solar vem aumentando no estado pela sua viabilidade técnica como mostrado no exposto trabalho.

O resultado do dimensionamento mostrou ser possível que um SFV atenda satisfatoriamente a demanda das áreas comuns do edifício residencial usado como estudo. Um ponto importante neste resultado é a possibilidade de enfatizar a opção de um meio urbano mais sustentável que atenda às necessidades dos cidadãos. A utilização de energia solar *on grid* em edifícios, permite um menor custo do projeto e ao longo dele, já que este, não utiliza de um banco de baterias, tornando mais atraente que o sistema *off grid*.

Quanto aos resultados dos índices econômicos calculados para o projeto, foi possível observar que o sistema de microgeração proposto é viável economicamente por todas as variáveis estudadas. Tanto VPL quanto a TIR do projeto foram positivas e o prazo para ter o investimento inicial de 3 anos e meio é baixo para um projeto de vida útil estimada em 25 anos. Através da Figura 36, é possível visualizar o tempo de retorno do investimento, onde a inclinação da reta sai do valor negativo e começa a positivar. Outro ponto que o fluxo de caixa expõe através do gráfico é a linearidade do crescimento do capital acumulado, o que mostra ser constante e crescente mesmo que a eficiência do sistema decaia anualmente.

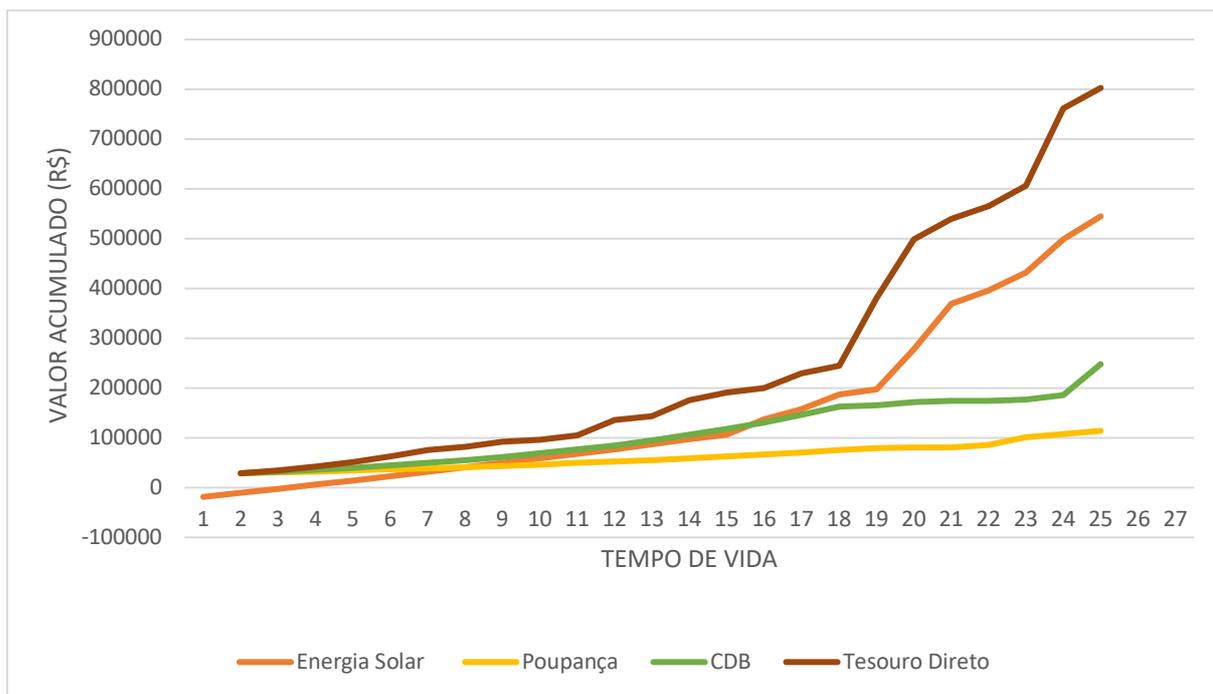
Figura 35 - Fluxo de caixa.



Fonte: Elaboração Própria, 2022.

Os resultados financeiros encontrados mostraram ser promissor para o projeto encontrado comparando-se com outros tipos de investimento. O único investimento que mostrou ter maior rentabilidade foi o TD.

Figura 36 - Rentabilidade Energia Solar, Poupança, CDB e TD.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

O gráfico da Figura 37, mostra a diferença discrepante quanto os investimentos e o TD. O investimento do tesouro mostrou ser algo muito vantajoso do ponto de vista econômico. Porém, considerando que a análise econômica deste trabalho não considerou os créditos vendidos para a CEMIG da energia excedente e que, taxas que o TD utiliza para calcular sua receita pode modificar ao longo do cenário econômico nacional, o presente trabalho, defende a viabilidade econômica do SFV acima de dos investimentos reais analisados.

Além de promover o crescimento do uso de uma energia de fonte renovável e limpa, a adesão deste projeto agregaria valor aos apartamentos desse edifício, visto que empreendimentos urbanos que possuem tecnologias sustentáveis, como o uso de irradiação solar para gerar energia, são mais valorizados no mercado imobiliário. Segundo um estudo realizado pelo Laboratório Nacional de Lawrence Berkely nos

Estados as pessoas entrevistadas estariam dispostas a pagar \$15 mil a mais em residências capazes de gerar energia fotovoltaica, este estudo comprava que medidas sustentáveis agregam valor não só a casas e apartamentos, mas a qualquer empreendimento.

A Portal Solar (2020), defende o investimento em energia solar comparando também com outros s de renda fixa. Para uma simulação, semelhante ao presente estudo de caso, um investimento inicial de R\$ 25 mil, capaz de gerar 500kWh por mês, em um tempo de 3 anos renderia no CDB um montante de R\$ 5.706,00, em contrapartida, um sistema fotovoltaico acumularia no mesmo período um valor de R\$ 13.449,00. Este resultado condiz com nossa análise financeira uma vez quem nosso valor acumulado em 25 anos foi maior que o rendido pelo CDB.

A pesquisa realizada por Bald (2021) comparou dois cenários diferentes, o primeiro cenário o investimento ao uso de energia solar em uma residência no estado do Paraná seria pago à vista e o outro cenário utilizaria de financiamento. Em ambos os cenários, a autora confirmou ser viável economicamente o uso de SFV para residências. Neste exposto trabalho, não se fez a análise utilizando empréstimos, considerou que o pagamento seria feito a vista com o caixa atual do condômino. Porém, com a pesquisa de Bald, é interessante considerar que mesmo em linhas de créditos com juros a rentabilidade fotovoltaica é ainda interessante, tornando esse investimento ainda mais considerável.

Quanto as vantagens no que tange a esfera ambiental, o uso de energias renováveis é sempre vantajoso para a busca de uma sociedade mais sustentável. No presente trabalho a emissão de CO₂ utilizando a microgeração fotovoltaica é baixa. Outros autores, como Boyle, afirmam que mesmo que existam impactos ambientais na produção de painéis fotovoltaicos o uso destes pode diminuir significativamente o número de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. É muito importante considerar aspectos ambientais quando se refere ao meio urbano.

A geração de resíduos perigosos com potencial de contaminar o solo e lençol freático, provindos do descarte incorreto de módulos fotovoltaicos em um período de 25 anos, é um dos impactos ambientais que afeta centros urbanos, que se destaca quanto ao uso desta fonte elétrica. Segundo o EPE (2020) o Brasil não possui no seu

histórico nenhum acidente ambiental e descomissionamento³ com usinas fotovoltaicas e instalações *on grid* ou *off grid*, assim a avaliação de impacto ambiental fundamenta-se no uso das matérias e suas propriedades contaminantes para a fabricação dos módulos.

Em frente a carência quanto aos estudos sobre impactos ambientais e análises de ciclo de vida das placas fotovoltaicas, é possível que este trabalho, como a maior parte de estudos relacionados a esta temática, tenha subestimados alguns impactos ambientais. Dessa forma, aposta-se em ações preventivas, reparadoras e mitigadoras, possam ser muitas vezes, não realizadas por serem desconhecidos todos as consequências ambientais.

A legislação brasileira não possui nenhuma lei a dispor sobre licenciamento ambiental e uso de energia solar. É notória a necessidade de melhoria em estudos e em todo o processo de licenciamento ambiental para SFV. É interessante que haja projetos de criação de leis federais que possam contribuir, não somente para a vulnerabilidade do desenvolvimento de licenciamento, mas também, para se poder conhecer e discutir mais sobre esta fonte.

Em suma, com os resultados otimistas quanto a viabilidade ambiental e o baixo potencial poluidor desta fonte de energia, espera-se a ACV quanto a destinação dos módulos ao final do seu prazo de produtividade busque medidas que obedeçam a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010). Salienta-se que cuidados com o meio ambiente quanto ao uso de fontes renováveis de energia, não devem ser considerados antagonistas ao consumidor ou ao empreendedor, visto que realizado de forma correta pode beneficiar tanto a órgãos ambientais quanto ao consumidor final da fonte. Assim, pode-se enfatizar que o meio ambiente não ameace e põe em risco o desenvolvimento tecnológico.

Este trabalho buscou mostrar o quão satisfatório em vários aspectos é o uso de energia solar. Além da viabilidade técnica, ambiental e econômica o uso da energia solar para atender a demanda do residencial, ajudaria a aumentar a porcentagem

³ Descomissionamento segundo a Agência Internacional de Energia Atômica significa tomar devidas providências para a desativação de uma instalação nuclear no final da sua vida útil, atentando-se aos cuidados ao meio ambiente e a saúde humana.

quanto ao uso desta fonte na matriz energética brasileira, que segundo o ANEEL (2021), teve um aumento em mais de 60% comparando a anos anteriores. Introduzir tecnologias sustentáveis ao meio urbano é uma medida que reduz custos ambientais e econômicos e já vem sendo adotadas por vários países como já discutido anteriormente na revisão bibliográfica.

O interesse por aderir tecnologias como energia solar no meio urbano vem crescendo ao decorrer dos anos devido suas vantagens quanto ao seu uso. A pesquisa realizada por Barbosa (2019) mostra o aumento do interesse por essa temática, a Tabela 22 descreve o resultado desta pesquisa. Trazendo para o presente trabalho, o interesse mundial em substituir energia convencional por energia solar pode ser justificado principalmente por suas vantagens técnicas, ambientais e financeiras. Como já discutido durante esta pesquisa, as vantagens por aderir tecnologias capazes de gerar eletricidade proveniente do sol, agrega vantagens e valores econômicos e ambientais no meio urbano.

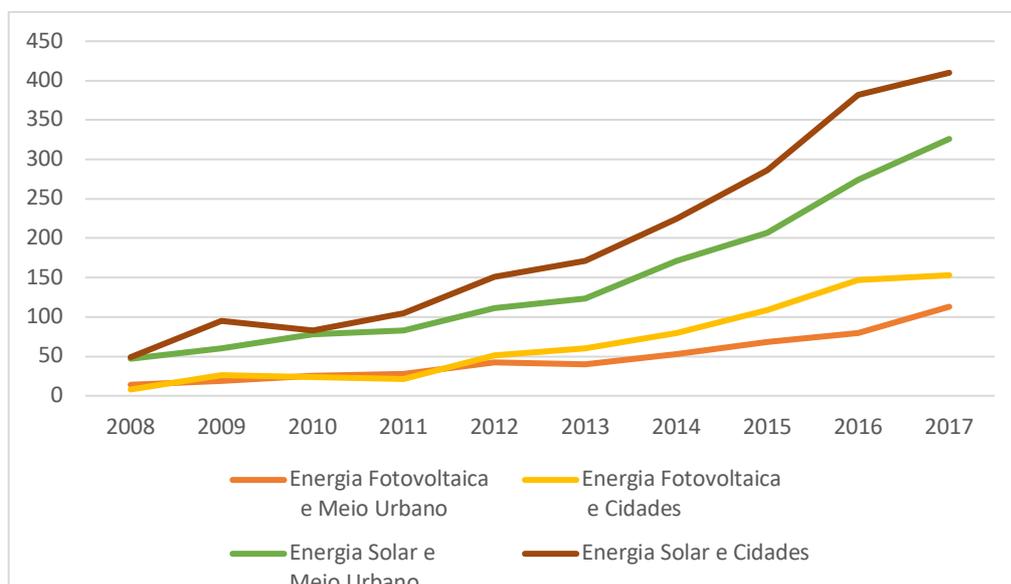
Tabela 22 - Desenvolvimento do uso em publicações, via *Web of Science*, dos termos relacionados ao tema da pesquisa.

Termo de Busca	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Energia Fotovoltaica e Meio Urbano	14	19	25	28	42	40	53	68	80	113	553
Energia Fotovoltaica e Cidades	8	26	24	21	51	60	80	109	147	153	766
Energia Solar e Meio Urbano	47	60	78	83	111	123	171	207	274	326	1.637
Energia Solar e Cidades	49	95	83	105	151	171	225	286	382	410	2.184

Fonte: Barbosa, 2019.

O estudo realizado por Barbosa, aponta a quantidade de trabalhos científicos publicados no Portal de Periódicos da CAPES com a temática de energia solar em cidades ou meios urbanos. Para o autor assim como o presente trabalho, o interesse pelo tema esta é resultado de consumidores finais estarem em busca de maiores economias em suas contas de eletricidade e um possível interesse em um meio ambiente mais sustentável. A Figura 38, revela de acordo com Barbosa, a evolução linear das pesquisas científicas, em termos percentuais o termo “Energia Solar e Meio Urbano” cresceu o equivalente a 1.812,5%, “Energia Solar e Cidades” crescimento de 736,7%, “Energia Fotovoltaica e Meio Urbano” 707,1% e “Energia Solar e Meio Urbano” crescimento de 593,6%.

Figura 37 - Gráfico apresentando o crescimento do uso em publicações, via Web of Science, dos termos relacionados ao tema da pesquisa.



Fonte: Barbosa, 2019.

Complementando quanto os ganhos do uso de energia solar em cidades, o exemplo citado do referencial teórico, sobre o bairro alemão Schlierberg pode ser relacionado com o presente estudo de caso. No bairro alemão todas as edificações possuem SFV, assim há uma economia de cerca de 500t de CO₂ por ano. Levando em consideração que este bairro possui apenas 60 edificações de pequeno porte e se projetarmos um bairro solar na cidade de Belo Horizonte, haveria ganhos significativos ambientais e econômicos.

Neste estudo de caso, comprovou-se uma economia de 1,331t de carbono para somente um edifício de 10 andares. Se dimensionarmos SFVs para todos os prédios do bairro que está localizado o residencial do estudo, encontraríamos uma grande economia de emissão de carbono. Visto que, a cidade de Belo Horizonte possui bairros extensos e é uma cidade verticalizada, ou seja, suas residências são a maior parte em edifícios. A Figura XX é representação da vista de cima do bairro. Pela imagem consegue perceber que o projeto não é de alta complexidade arquitetônica e que a única área necessária para implementar o projeto são os telhados das edificações, o que se mostra possível esse tipo de projeto na cidade de Belo Horizonte e em geral nas cidades brasileiras.

Figura 38 - Plano do Bairro Solar em Schlierberg.



Fonte: Rolfdisch, 2022.

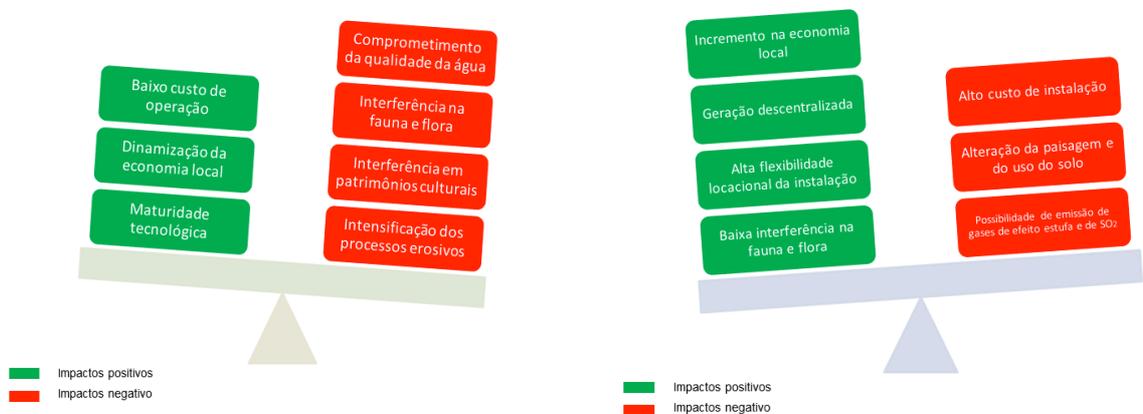
Pela vertente econômica, o projeto resulta em uma economia anual em energia elétrica de \$ 5.600 por ano. O custo de energia elétrica na União Europeia é calculado de forma diferente que a brasileira, entretanto, como já mostrado neste trabalho, a economia utilizando SFV's é significativa. Uma vez que, houvesse bairros com iluminação pública proeminente de energia solar, a economia para cidadãos quanto ao custo mínimo de energia tenderia a diminuir.

Existem outros projetos mundiais e nacionais que utilizam de energias alternativas como a solar. A utilização desta fonte em países de diferentes tipos de desenvolvimento, clima, população e extensão mostram que a energia proveniente do Sol é viável ambientalmente, tecnicamente e financeiramente em uma série de cenários distintos.

Os resultados deste trabalho comprovaram isto mesmo sendo realizado em uma estrutura micro e não considerando certos fatores, como reaproveitamento das placas solares e a receita gerada com a injeção de energia excedente na rede. Assim sendo, os resultados e discussões deste trabalho apontam como a energia solar fotovoltaica em um edifício situado no meio urbano deve ser implementada e expandida para outros empreendimentos e usos.

Complementando a discussão dos resultados encontrados desta pesquisa, é relevante destacar quanto as vantagens e desvantagens de se optar por um sistema solar ao invés do convencional elétrico não apenas para o meio urbano e sim para todo o macro. O estudo de caso de Shayani (2019), a autora fez a relação dos pros e contra de se utilizar destas fontes na sociedade em todas as esferas, ambiental, social e econômica, como mostra a Figura 39.

Figura 39 - Comparativo entre Hidrelétricas e SFV.



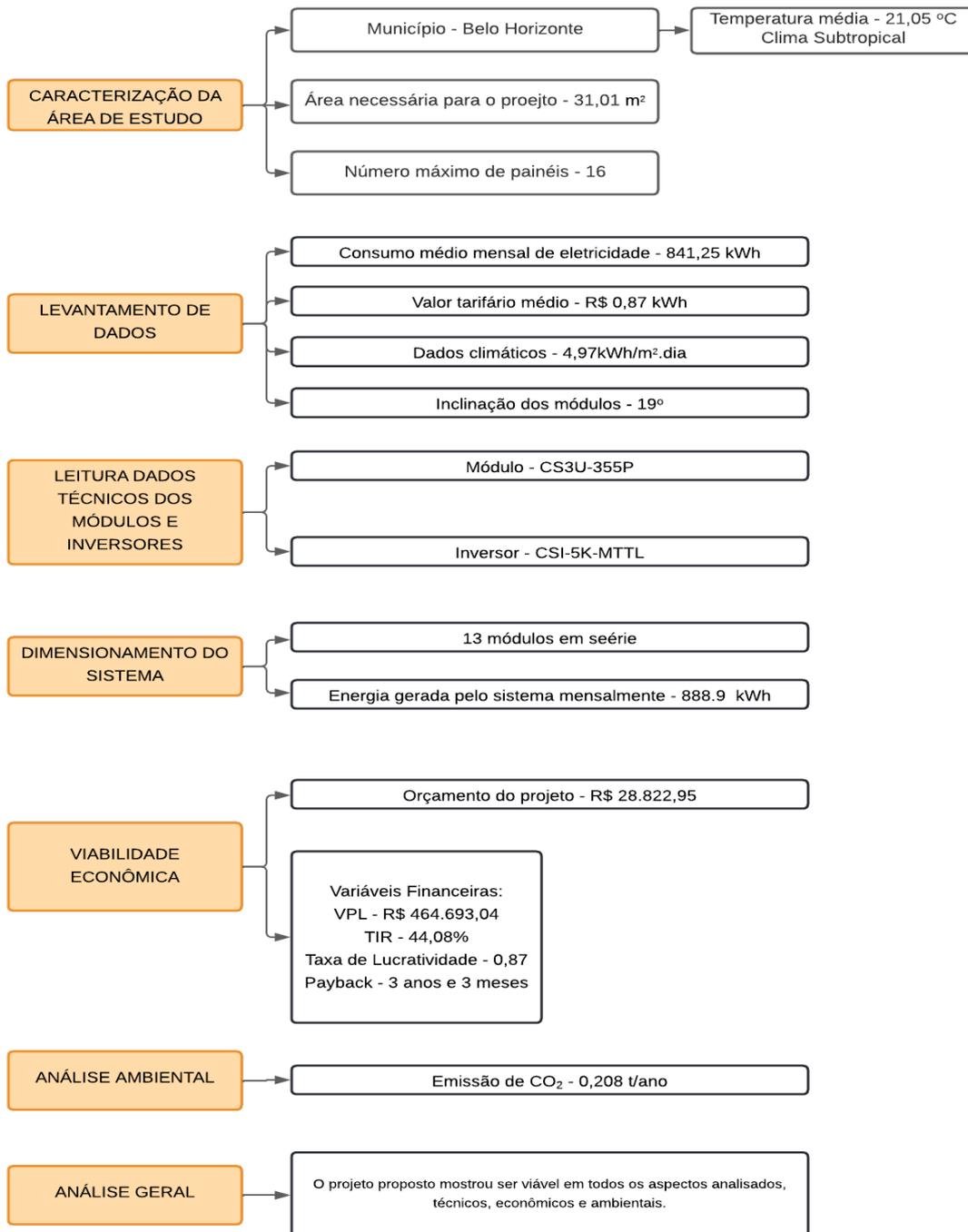
Fonte: Shayani, 2019.

O uso de sistemas fotovoltaicos se sobressai na pesquisa de Shayani com os mesmos atributos do presente trabalho. A geração de descentralizada para meios urbanos é uma vantagem por não haver necessidade de ocupar outras áreas físicas, característica impossível de acontecer em uma hidrelétrica. Outro ponto a ser considerado entre hidrelétricas e usinas solares é vantagem econômica em relação a possível alternância de preços tarifários. Enquanto a eletricidade possui variações de preços de acordo com sua bandeira tarifária, o uso de energia solar não possui essa implicação, uma vez que, mesmo que tenha períodos de baixa irradiação, períodos com alta irradiação solar compensam os de baixa e toda a energia pode ser armazenada na rede para ser utilizada posteriormente.

A fim de simplificar e facilitar o entendimento do leitor, esta pesquisa organizou um diagrama para ilustrar os principais resultados do presente trabalho, o diagrama

está representado pela Figura 40. Os resultados foram divididos seguindo os passos da metodologia utilizada no referido estudo de caso.

Figura 40 - Diagrama dos Resultados do Presente Trabalho.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

5 CONCLUSÃO

O setor residencial é um grande consumidor de energia elétrica e na maior parte dos casos depende do abastecimento de concessionárias, isso também inclui a maior parte das edificações urbanas, como edifícios comerciais e residências. O estudo de caso deste trabalho, propôs um projeto fotovoltaico ligado à rede para um edifício residencial de relativo baixo consumo energia em um grande centro urbano. Fundamentado no dimensionamento do SFV, na análise econômica e na projeção de emissão de CO₂ deste projeto, conclui-se que é viável elaboração desta proposta.

A partir do dimensionamento, o sistema produziria quantidade suficiente para atender a demanda, quantidade está de 888,9 kWh que é a mais que a média consumida atualmente pelo condomínio. Como a proposta é para um sistema *on-grid*, energia não consumida poderia ser transformada em créditos para o residencial.

As análises sobre a viabilidade financeira do sistema apontaram que este é um bom investimento. A variável VPL foi aceitável, pois foi diferente de zero e ser em torno de 16 vezes maior que o investimento inicial, tornando o projeto atrativo. Importante ressaltar que a VPL é uma variável econômica de grande credibilidade. A Taxa Interna de Retorno foi de 44,8%, um valor elevado que significa o quão rápido será o retorno do investimento. Por último, não menos importante, o *payback* estimulado foi de 3 anos e 3 meses, tempo parcialmente para curto para a recuperação do valor investido.

Em relação aos investimentos de renda fixa quando comparados ao investimento a ser feito pelo sistema fotovoltaico, o único que resultou ser mais viável foi o tesouro direto. Embora o lado econômico seja um fator de grande peso quando se trata de investimentos, este trabalhou concluiu, que deve ser considerado aspectos ambientais, agregação de valor ao residencial e outras receitas como a injeção de energia a rede, a reciclagem dos módulos fotovoltaicos e a relação econômica quanto a eficiência.

Por fim, a média de emissões de CO₂ que o projeto evitaria é significativa. Em cenários de grandes preocupações ambientais, medidas que possuem a capacidade de mitigar impactos ambientais, são de grande valia e precisam de ser incentivadas e implantadas na sociedade.

Conclui-se também, com o presente trabalho, o quanto o meio urbano possui potencial de geração de energia solar, não apenas em residências ou edifícios, mas em toda sua esfera em conjunto. Diante disso, é importante investir em inovação para que poder gerar energia solar em lugares ainda não explorados.

Assim sendo, diante dos três parâmetros analisados, o sistema proposto é rentável e proeminente para ser efetivado. O uso de sistemas fotovoltaicos para edificações é uma opção que atende aos vários cenários, além dos citados anteriormente, projetos desse tipo agregam valor financeiro ao empreendimento e transformam o meio urbano em ambientes sustentáveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de toda pesquisa bibliográfica realizada para o presente trabalho, foi possível constatar a grande potencialidade de geração fotovoltaica que o Brasil possui e os caminhos que está traçando no incentivo dessa alternativa energética. Além de suas dimensões continentais, o território brasileiro é marcado por suas ricas características naturais, bem como a capacidade de insolação solar em todo seu espaço geográfico.

O governo brasileiro, desde 2012, com a primeira Resolução Normativa N°482/2012, incentiva a geração distribuída, o que resulta em mais interesse da população em aderir sistemas de geração solar. Estímulos quanto a essa temática também estão acontecendo em alguns estados brasileiros fazendo com que a geração solar se torne cada vez mais presente na matriz energética brasileira.

Além dos incentivos governamentais, a crise hídrica e o aumento tarifário da energia elétrica também cooperam para este avanço dessa geração. A principal fonte geradora de eletricidade no Brasil são as hidrelétricas, entretanto, quando há longos períodos de estiagem, isso reflete na conta de luz dos brasileiros, já que as concessionárias têm de recorrer a fontes alternativas de energia com custo mais elevado. Em 2021 presenciamos um alto aumento da tarifa da conta luz decorrente disto.

No que tange emissões de gases poluentes, conclui-se que o Brasil precisa estabelecer medidas de licenciamento ambiental para empreendimentos fotovoltaicos e explorar mais os possíveis impactos ambientais que esta geração poderia causar ao meio ambiente. A análise do ciclo de vida de painéis e também algo que precisa ser explorado mais para se conhecer esses impactos. Estudar e buscar caminhos e tecnologias para a reciclagem dos módulos fotovoltaicos evitaria contaminações ambientais e geraria lucros através da economia reversa.

Inserir sistemas fotovoltaicos nos telhados das edificações nos centros urbanos utilizando geração distribuída acarreta vantagens como a atenuação de custo e perdas no sistema de transmissão de energia convencional. Outro ponto a ser discutido é sobre a não necessidade de haver um ponto de energia centralizada para abastecer as UC's, uma vez que, sistemas de energia solar operam como usina descentralizada e não exigem espaços extras além o da própria edificação.

Energias de fontes inesgotáveis, como a solar, e energias renováveis como eólica não são apenas interessantes quanto sua viabilidade e sim necessárias. A inserção e aumento para que a matriz energética brasileira tenha como predominância esses tipos de fonte, traz a toda esfera social vantagens como minimização das cargas nas redes elétricas e perdas técnicas, mitigação de poluentes ambientais, economia para as unidades consumidoras e ganhos em perspectivas ambientais.

O tema energia solar é amplo e interessante de ser estudado. Ao terminar um estudo surgem novas ideias e possibilidades de novos projetos. Como sugestão para trabalhos futuros, listam-se abaixo tópicos que será de grande valor social se fossem estudados e agregaria valor ao tema de geração fotovoltaica:

- estudo de análise para a inserção de energia solar para diferentes setores, como industriais e transportes e comparando o quanto isso impactaria a matriz energética do local de estudo;
- trabalho voltado para cidades sustentáveis por meio do uso de energias renováveis;
- simulação de um bairro solar em alguma cidade brasileira;
- propostas de destinação final para módulos fotovoltaicos;
- estudo sobre licenciamento ambiental em sistemas de microgeração e minigeração no Brasil;

- comparar diferentes cenários sociais de renda e o uso da energia solar fotovoltaica;
- propor inovações tecnológicas meios urbanos para se conseguir explorar a irradiação solar e transformá-la em energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. P. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2012. 175 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ANDRADE, A. O.; SILVA, M. A. C. D. Análise de investimento de um projeto de uma unidade de recebimento de grãos. **Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)**, v. 2, n. 1, 2018.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL, 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. ANEEL. Brasília , p. 31. 2016.

ANEEL. **Geração Distribuída**. ANEEL, 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/generacao-distribuida>>. Acesso em: 4 Dezembro 2021.

BARBOSA, L. D. S. N. S. et al. Hydro, wind and solar power as a base for a 100% renewable energy supply for South and Central America. México, **PloS one**, v. 12, n. 3, p. e0173820, 2017

BARROS, H. A. **Anteprojeto de um sistema fotovoltaico de 12kwp coenctado à rede**. 2011. 62f. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Escola politécnica - UFRJ , Rio de Janeiro, 2011.

BEN. **Relatório Síntese 2021 - Ano base 2020**. Ministério de Minas e Energia. [S.I.]. 2021.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos**. 11. ed. [S.I.]: PEARSON, 2013.

BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. UFRJ , Rio de Janeiro , Novembro 2008.

BRASIL. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético

(CDE), dispõe sob. **Lei no 10.438, de 26 de Abril de 2002**, 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm>. Acesso em: 5 Dezembro 2021.

BUDEL, D. A. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em residências**. 2017. 46f. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Produção, RS, 2017.

CARVALHO, L. M. A. D. **Análise técnica e econômica de um sistema solar fotovoltaico no hangar da UFRJ**. 2019. 50f. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Escola politécnica - UFRJ, Rio de Janeiro, 2019.

CEMIG. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. 1°. ed. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEMIG. **MINI E MICROGERAÇÃO DISTRIBUIDA - CONECTE-SE A NOSSA REDE**. CEMIG, 2020. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/mini-e-microgeracao-distribuida/>>. Acesso em: 4 Dezembro 2021.

CEMIG. **Valores de Tarifas e Serviços**. CEMIG, 2021. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em: 6 Dezembro 2021.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO; CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. [S.l.]: CRESEB, 2014.

COSTA, H. J. S. D. **Avaliação do fator de dimensionamento do inversor em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010. 69f. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2010.

CORDEIRO, S. B. **Análise de estudos ambientais de empreendimentos fotovoltaicos de geração centralizado no Brasil**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2019.

CREPLIVE, E. R. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para geração de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos em um condomínio na cidade de Curitiba**. 2018. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em

Energias Renováveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

DUAIK, I. R. **Estudo sobre a viabilidade financeira da implementação de um sistema fotovoltaico em um hospital público**. 2018. 130f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos , 2018.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, 18 Agosto 2015. 70-81.

ELGIN S/A. String Box 1 Entrada/1 Saída IP65. Elgin, 2021. Disponível em: <<https://www.elgin.com.br/Produtos/energia-solar/string-box/string-box-1-entrada-1-saida-ip65-elgin>>. Acesso em: 15 Novembro 2021.

ENERGY PLUS. **Weather Data by Region**. Energy Plus. Disponível em: <https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA%20%20>. Acesso em: 9 Agosto 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **EPE**, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

FERNANDES DA SILVA, C. **Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formas urbanas**. 2018. 97f. Dissertação (Programa de Engenharia Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

FREIRE, L. S. **Energia solar para usuários de baixa renda**. 2020. 125f. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Escola politécnica - UFRJ , Rio de Janeiro, 2020.

GÜNTZEL, I. L. **Análise de viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid, instalados em posto de combustível**. 2018. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

GLOBAL ATLAS SOLAR. Global Solar Atlas, 2021. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/detail?m=site&c=-19.923004,-43.945313,11&s=-19.917839,-43.934326>>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

GOMES, A. E. **Modelo de Projeto de uma Planta Fotovoltaica de Microgeração para Capacitação em Energia Solar**. 2017. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2017.

GOOGLE. Google Earth. Google Earth, 2021. Disponível em: <<https://earth.google.com>>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

GREEN, M. A. Solar cells: operating principles, technology, and system applications. **Englewood Cliffs**, 1982.

GUIMARÃES, B. **Análise da viabilidade económica da instalação de um sistema de autoconsumo fotovoltaico numa habitação**. 2016. 108f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) Faculdade de Engenharia Universidade do Porto - FEUP, Porto, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE**, 2021. Disponível em: <<https://ibge.gov.br>>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **INMET**, 2021. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br>>.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. **INPE**, 2017. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

INPE. Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. **SONDA**. Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br>>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

INTELBRAS. **Créditos de energia solar: 6 perguntas e respostas**. Intelbras Blog, 2021. Disponível em: <<https://blog.intelbras.com.br/creditos-de-energia-solar/>>. Acesso em: 3 Dezembro 2021.

LABREN. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE. [S.l.]. 2017.

LABREN. Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia. LABREN, 2021. Disponível em: <<http://labren.ccst.inpe.br/index.html>>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

LIRA, M. A. T. et al. Contribuição dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica para a redução de CO₂ no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 389-397, 2019.

LORDÊLO, J. A. C.; VERHINE, R. E. O retorno do investimento em mestrado e doutorado para professores universitários: uma avaliação econômica da educação pós-graduada. **Estudos em Avaliação Educacional**, n. 24, p. 165-186, 2001.

LORENZET, L. **Análise da viabilidade de investimento de uma empresa do ramo de distribuição de gás natural comprimido (gnc)**. 2013. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) Universidade de Caxias do Sul, USC, Caxias do Sul, 2013.

MAESTRI, H. G. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo para alimentação de um dispositivo de monitoramento de parâmetros elétricos em linhas de transmissão**. 2018. 101f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MARÇAL, J. F. **O aproveitamento do efeito fotovoltaico como alternativa para geração elétrica de alta qualidade nos pelotões especiais de fronteira do comando militar do oeste**. 2020. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Militares) Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2016.

MCTI. **Método De Análise De Despacho**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html>. Acesso em: 7 Agosto 2021.

MEDEIROS, C. A. G.; MARTINS, A. M. Geometria sol-terra: revisão didática com ênfase no hemisfério sul e direcionada pela abnt nbr 10899: 2013. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2020.

MELO, F. C. **Análise de viabilidade técnica e econômica de um projeto fotovoltaico estudo de caso: estádio aderbal ramos da silva**. Ufsc. 2020. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MELO, N. R. D.; NOBREGA, R. V. T. D. DE MELO. Dimensionamento e simulação de uma microrrede utilizando geração conjunta eólica/solar aplicada em um condomínio residencial na cidade de Janaúba/MG. **ForScience**, v. 5, n. 3, 2017.

MENEZES, L. D. S. S. E. **Análise de implementação de um sistema de microgeração distribuída fotovoltaica para uma rede de ensino**. 2014. 116f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Engenharia

Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MIGUEL C & BRITO, J. A. S. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. **O instalador**. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa , 2006.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração fotovoltaica no brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 106f. Dissertação (Mestrato em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, 2014.

NEOSOLAR. **NeoSolar**, 2021. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-355w-canadian-cs3u-355p.html>>. Acesso em: 4 Dezembro 2021.

NOGUEIRA, E. F.; GARCIA, G. **Análise da viabilidade econômica para sistemas de geração fotovoltaica em construções residenciais de até 70m² na cidade de curitiba**. 2017. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso–Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

NOVAIS, H. H. B. D. **Análise e implementação de técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência para sistemas fotovoltaicos**. 2016. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

OLIVEIRA, M. H. V. D. **Efeito fotovoltaico e fotocondutividade em dispositivos poliméricos**. 2000. 126f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OPEN EI. Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). Open EI. Disponível em: <[https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_\(SWERA\)](https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA))>. Acesso em: 9 Agosto 2021.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2°. ed. São José dos Campos : INEP , 2017.

PORTAL SOLA. Usina solar: todas as informações sobre a tecnologia no Brasil e no mundo. **Portal Solar**, 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>>. Acesso em: 9 Dezembro 2021.

PORTAL SOLAR S.A. Geração Distribuída de Energia – GD. **Portal Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>>. Acesso em: 4 Dezembro 2021.

RAMPINELLI, G. A.; ARNOKREZINGER; ROMERO, F. C. Description and analysis of inverters used in photovoltaic systems. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 15, p. 25-50, 2013.

REBELATTO, D. A. D. N. **Projeto de investimento**, 2004.

RIVELLO, C. Potencial Solar do Brasil. **América do Sol**, 2019. Disponível em: <<https://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 4 Dezembro 2021.

ROCHA, G. S.; RODRIGUES, O. S. **Estudo de Viabilidade de um Sistema de Geração de Energia Elétrica Através do Efeito Fotovoltaico**. 2019. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) UniEvangélica, Anápolis, GO, 2019.

RODRIGUES, A. O. **Regulamentação e incentivos da geração distribuída fotovoltaica no Brasil: situação atual e perspectivas**. 2019. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019

RODRIGUES, L. T. **Estudo Comparativo De Novas Tecnologias De Geração Fotovoltaica**. 2017. 144f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Sistemas de Energia) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

ROSS, S. A. **Administração Financeira**. 10ª edição. ed. [S.l.]: AMGH, 2015.

SCARI, M. E. **Cenários de consumo de energia elétrica para o setor residencial de Belo Horizonte**. 2011. 196f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SOLARTIK. **¿Que es un sistema solar OFF GRID?**, 2020. Disponível em: <<https://solartik.com.ar/que-es-un-sistema-solar-off-grid/>>. Acesso em: 2 Dezembro 2021.

SOUZA, G. M. S. D. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de um Condomínio Solar em Armação de Búzios**. 2018. 80f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

SOUZA, Jefferson et. al. Otimização Computacional do Modelo BRASIL-SR. In: **Anais da IX Escola Regional de Alto Desempenho de São Paulo**. SBC, 2018. p. 53-56..

STANQUEVISKI, L. L. D. F. **Dimensionamento e análise da viabilidade da implantação de um sistema de microgeração fotovoltaica no Câmpus da UTFPR - Pato Branco**. 2016. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

TIEPOLO, G. M. et al. Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha. In: **V Congresso Brasileiro de Energia Solar–V CBENS, Recife**. sn, 2014. p. 9.

TOLMASQUIM, M. T.; GERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz Energética Brasileira Uma Perspectiva. **Novos Estudos Cebrap**, São Paulo, p. 47-69, Novembro 2007.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos E Aplicações**. 2 Edição. ed. São Paulo : Érica, 2012.

VINTURINI, M. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box**. Canal Solar, 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>>. Acesso em: 1 Dezembro 2021.

YABUTA, F. Y. **Impacto Ambiental da Fabricação do Silício Fotovoltaico**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

ZOMER, C. D. **Mega Watt Solar: Geração Solar Fotovoltaica Integrada A Uma Edificação Inserida Em Meio Urbano E Conectada À Rede Elétrica. Estudo De Caso: Edifício Sede Da Eletrosul**. 2010. 155f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2010.