

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Arquitetura

Pós-Graduação em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos

Fernanda Silva Raposo

USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS: simulação de
viabilidade em residência unifamiliar

Belo Horizonte

2021

Fernanda Silva Raposo

USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS: simulação de
viabilidade em residência unifamiliar

Versão Final

Monografia de especialização apresentada ao Departamento da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos.

Orientadora: Prof.^a Me. Grace Roel Gutierrez

Belo Horizonte

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (31) 3409-8823

FAX (31) 3409-8822

ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA *FERNANDA SILVA RAPOSO*, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS

Às 08:00 horas do dia 18 de novembro de 2021, reuniu-se *online*, a Comissão Examinadora composta pela Professora Grace Cristina Roel Gutierrez, Orientadora-Presidente e pela professora Karla Jorge Abrahão, designadas pela Comissão Coordenadora do Curso para avaliação da monografia intitulada “**Uso de energia fotovoltaica em edifícios residenciais: estudo de caso em residência unifamiliar**” de autoria de **Fernanda Silva Raposo**, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura após correções finais.

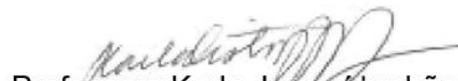
Nota: 93,0; Conceito: A

Belo Horizonte, 18 de novembro de 2021



Grace Cristina Roel Gutierrez

Professora Grace Cristina Roel Gutierrez
Orientadora-Presidente



Professora Karla Jorge Abrahão

Resumo

O presente trabalho visa o estudo e análise do uso da energia fotovoltaica, especialmente, em edifícios residenciais. O uso da energia convencional, derivada de fontes não renováveis, tem-se mostrado cada vez mais inviável e insustentável ambientalmente. No contexto brasileiro, a utilização desse tipo de energia ainda se faz presente. Ainda que o predomínio da matriz energética provenha das hidrelétricas, seu uso tem-se mostrado desvantajoso, devido aos impactos ambientais e às perdas energéticas. Considerando-se a grande extensão territorial do Brasil e a alta incidência de radiação solar, a energia solar, obtida por meio dos sistemas fotovoltaicos, tem-se mostrado favorável ambientalmente e financeiramente. Dessa forma, buscou-se analisar o uso do sistema fotovoltaico em duas edificações de uso residencial na cidade de Santo Antônio do Monte, em Minas Gerais, traçando os comparativos e resultados obtidos.

Palavras-chave: Energia Solar. Sistema Fotovoltaico.

Abstract

The present work aims to study and analyze the use of photovoltaic energy, especially in residential buildings. The use of conventional energy, derived from non-renewable sources, has proven increasingly unviable and environmentally unsustainable. In the Brazilian context, the use of this type of energy is still present. Although the predominant energy matrix comes from hydroelectric plants, their use has proven disadvantageous, due to the environmental impacts and energy losses. Considering the large territorial extension of Brazil and the high incidence of solar radiation, solar energy, obtained through photovoltaic systems, has proven to be favorable both environmentally and financially. Thus, it was sought to analyze the use of the photovoltaic system in two buildings of residential use in the city of Santo Antônio do Monte, in Minas Gerais, outlining the comparisons and results obtained.

Keywords: Solar Energy. Photovoltaic Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo Energético Global.....	13
Figura 2: Matriz Elétrica Brasileira.....	14
Figura 3: Sistema Interligado Nacional.....	15
Figura 4: Perdas Energéticas no SIN	16
Figura 5: Irradiação Solar no Brasil	17
Figura 6: Capacidade de energia fotovoltaica entre 2017-2019, na China, EUA, Índia, Brasil, Japão e União Europeia	18
Figura 7: Crescimento da capacidade fotovoltaica no Brasil para os anos 2007 à 2009, 2020 à 2022 e projeção para os anos seguintes	19
Figura 8: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil	20
Figura 9: Tipos de placas solares - da esquerda para direita, placa monocristalina, policristalina e filme fino.	21
Figura 10: Construção do Painel Solar.....	22
Figura 11: Microinversor que desempenha as mesmas funções do tradicional inversor	22
Figura 12: Geração solar distribuída conforme classe de consumo	23
Figura 13: Demanda energética em 2020 - Períodos de <i>lockdown</i> completo estão tracejados.....	26
Figura 14: Localização de Santo Antônio do Monte em Minas Gerais	27
Figura 15: Em destaque vermelho, está a edificação utilizada como exemplo; em azul, a utilizada para simulação	28
Figura 16: Edificações utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho; em tons cinza, a analisada; em tons bege, a simulada; localizadas na Av. Francisco Teotônio de Castro.....	28
Figura 17: Inversor Solar	29
Figura 18: Edificação utilizada para simulação do sistema fotovoltaico	30
Figura 19: Localização das placas solares da residência.....	30
Figura 20: Radiação média mensal do município.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com o consumo energético mensal da edificação simulada e os aparelhos de maior consumo	31
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IEA – Agência Internacional de Energia

SIN – Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
2	ENERGIA CONVENCIONAL VERSUS ENERGIA RENOVÁVEL	12
2.1	Energia Convencional	12
2.2	Energia Renovável	14
2.3	Panorama Energético Nacional	14
2.4	Energia Solar.....	16
3	USO DA ENERGIA SOLAR NO MUNDO E NO BRASIL	18
4	SISTEMA FOTOVOLTAICO	20
4.1	Componentes do Sistema	20
4.2	Tipologia do Sistema	23
4.3	Normativas	24
4.4	Instalação	24
4.5	Manutenção.....	24
4.6	Desafios	25
5	IMPACTO DA COVID-19	25
6	METODOLOGIA	26
6.1	Estudo de Caso: Sistema Fotovoltaico Residencial	27
6.1.1	Sistema fotovoltaico analisado	27
6.1.2	Sistema fotovoltaico simulado	29
6.1.2.1	Características da Edificação.....	29
6.1.2.2	Consumo Médio.....	31
6.1.2.3	Simulação	32

6.1.3	Resultados	33
7	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura sustentável visa reduzir os danos do homem ao ambiente, portanto abrange inúmeras áreas de atuação, sendo uma delas a geração de energia limpa e com o menor impacto possível. Segundo os autores Silva, Hayashi e Sangiuliano (2020), a energia sustentável é aquela em que a sua produção tem como recurso uma fonte inesgotável, renovável e que atende a necessidade do presente sem comprometer o futuro, com o máximo de aproveitamento energético nos campos ambientais, sociais e econômicos.

No Brasil, a geração de energia elétrica dá-se, principalmente, por meio das hidroelétricas, porém mesmo sendo considerada como uma energia limpa, causa grandes impactos no ambiente, devido a necessidade de alagamento e da reserva de grande volume de água. A construção de grandes usinas interfere no ecossistema, impacta a biodiversidade do meio ambiente, desvia os rios, desmata grandes áreas e provoca a migração de comunidades ribeirinhas como é citado por Silva, Hayashi e Sangiuliano (2020, p. 14).

Se tratando da energia solar, Vichi e Mansor (2009) concluem que:

O Sol é a fonte de energia primária mais abundante para nosso planeta. Num sentido bastante amplo, pode-se dizer que, com exceção da energia nuclear, todas as outras fontes, renováveis ou não, são apenas diferentes formas de energia solar. (VICHI; MANSOR, 2009, p. 765)

1.1 Justificativa

Em 2020, o diretor da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), Feitosa Neto, discursou sobre o protagonismo da inserção de fontes renováveis na matriz energética mundial, que deverá aumentar em 30% até 2040, devido ao crescimento populacional, universalização do acesso à energia, crescimento econômico dos países em desenvolvimento, entre eles o Brasil, eletrificação dos sistemas de transporte e diminuição da linha da pobreza. Ele ressalta ainda que o uso de eletricidade será duas vezes maior que o consumo energético geral, implicando em

um crescimento da matriz elétrica global de aproximadamente 60% até 2040 (FEITOSA NETO, 2020).

Os benefícios do crescimento da produção energética sustentável no Brasil, além de ambientais, são o desenvolvimento econômico, redução da pobreza e inclusão social das pessoas próximas às usinas eólicas e solares. O diretor da ANEEL reforça que o Brasil e o mundo buscam inserir a energia renovável de forma segura em relação ao abastecimento, custos e tarifas moderados (FEITOSA NETO, 2020).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar as fontes energéticas, enfatizando a geração de energia solar fotovoltaica em residências.

Apresentar um estudo de caso de implementação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica em uma residência já edificada.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a energia solar;
- Apresentar as fontes energéticas;
- Mostrar o panorama energético nacional;
- Apresentar o sistema fotovoltaico e suas vantagens em uso residencial.

2 ENERGIA CONVENCIONAL VERSUS ENERGIA RENOVÁVEL

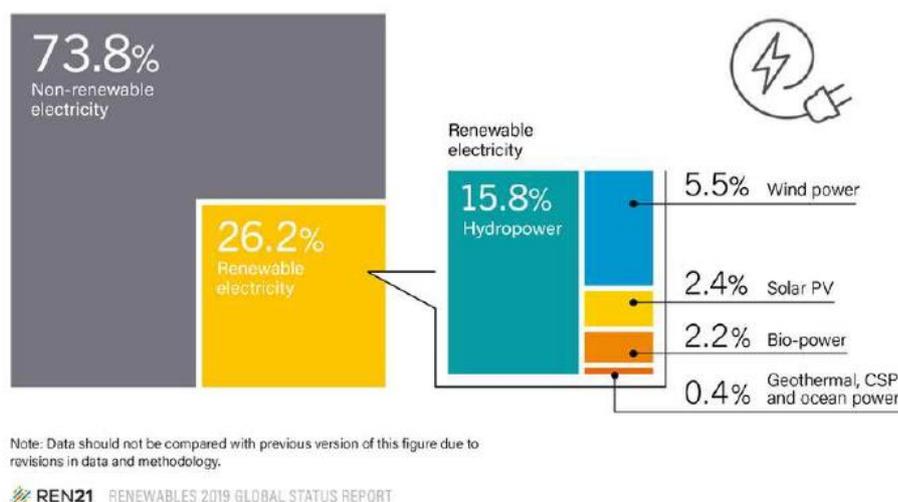
2.1 Energia Convencional

A matriz energética é definida pelas fontes de energias disponíveis para movimentar carros, indústrias e gerar eletricidade, sendo a matriz elétrica uma parte da matriz energética (PEREIRA; SILVA NETO, 2020).

Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN, em 2020, as fontes renováveis representaram 48,4% da energia consumida no país, porcentagem essa que tem crescido desde 2015. Porém as fontes não-renováveis ainda correspondem a 51,6% (EPE, 2020), sendo geradas por recursos que se formaram há milhões de anos e são finitos como o petróleo, gás natural e carvão mineral. A queima desses combustíveis emite gases que provocam o aquecimento global (EPE, 2018).

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), o consumo de eletricidade deverá aumentar em 30% até 2040, portanto para atender a demanda energética, evitar o esgotamento dos recursos fósseis e diminuir os impactos ambientais causados pelo consumo desses recursos, é necessário ampliar o uso de fontes renováveis (COUTINHO, 2019).

Figura 1: Consumo Energético Global



Fonte: Coutinho (2019)

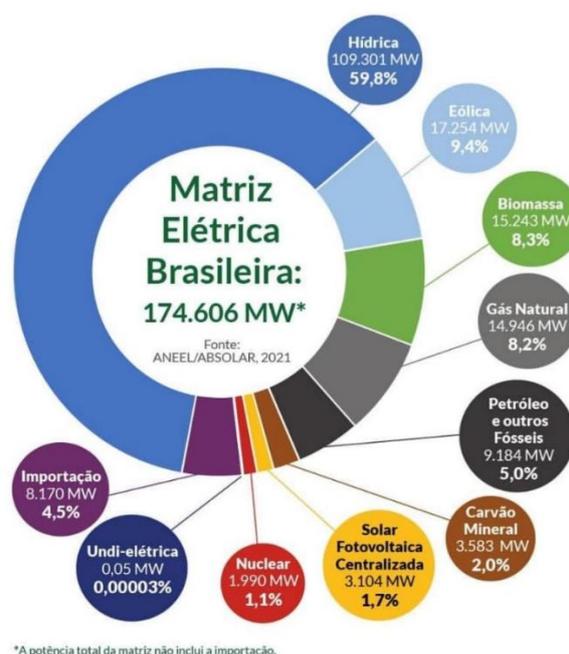
2.2 Energia Renovável

Segundo Silva, Hayashi e Sangiuliano (2020), em 2016 as fontes renováveis, como solar, eólica e geotérmica, correspondiam a apenas 14% da matriz energética mundial, enquanto que Vichi e Mansor (2009, p. 759) já diziam que “o Brasil se destaca dos demais países por um motivo bem simples: a matriz brasileira já é cerca de 46% renovável, comparada à média mundial de 12%.”

2.3 Panorama Energético Nacional

Conforme mencionado anteriormente, a produção de energia elétrica no Brasil é, predominantemente, proveniente de usinas hidroelétricas que, além dos fatores socioambientais, tem como desafio o desenvolvimento de modelo financeiro para o setor, modernização das instalações e dependência do regime pluvial (VICH; MANSOR, 2009). O gráfico disponibilizado pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) mostra o predomínio da geração hidrelétrica dentro da matriz energética brasileira.

Figura 2: Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: ABSOLAR (2021). Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

Outro fator importante é a distância percorrida desde a geração da energia até o consumidor final: o processo inicia-se em usinas distantes dos centros; a energia gerada é transportada através de cabos para torres de transmissão, diversas subestações, onde há o aumento da tensão para não se perder energia; essa energia percorre até subestações próximas do centro de consumo, onde novamente é reduzida a tensão, e, então, são distribuídas para os postes de energia, que possuem pequenos transformadores que regulam a tensão, permitindo assim o uso do consumidor final, como é exemplificado por Ferreira (2012, apud SILVA; HAYASHI; SANGIULIANO, 2020, p. 29)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é uma malha de transmissão que transporta a energia gerada em grandes usinas e subestações, integrando a distribuição de energia nas diferentes regiões do país, independente da fonte energética, seja eólica, térmica ou solar (ONS, 2021).

Figura 3: Sistema Interligado Nacional

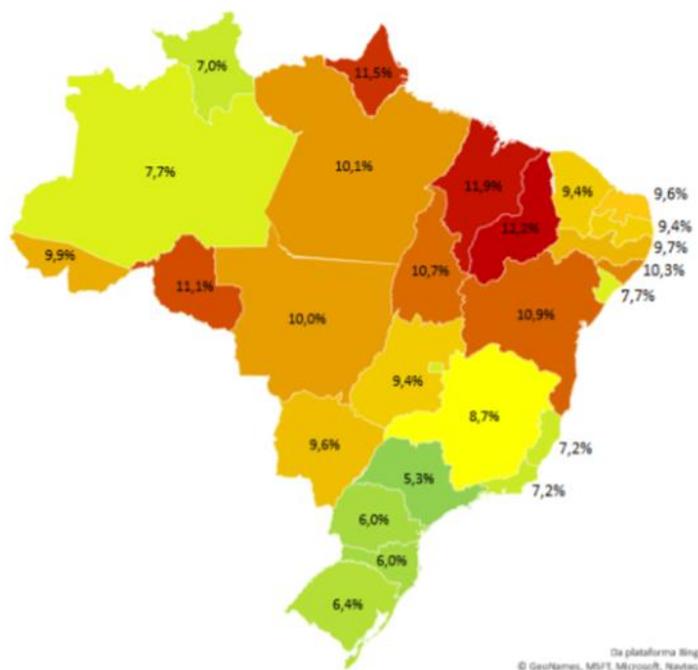


Fonte: ONS (2021)

É nesse sistema em que ocorrem as perdas elétricas técnicas, que são inevitáveis, mas variam conforme cada concessionária. Essa perda é calculada pela diferença da energia gerada e a energia entregue aos consumidores. O mapa da

Figura 4 apresenta a perda de energia técnica no ano de 2018, onde a média foi de 7,5%. Essa perda tem impactos no custo de bilhões de reais e são repassados aos consumidores (ANEEL, 2019).

Figura 4: Perdas Energéticas no SIN



Fonte: ANEEL (2019)

É ressaltado pelos autores Vich e Mansor (2009) que, embora sustentável e renovável, a dependência de uma única fonte de energia, no caso a hidroelétrica, possui riscos de racionamento, sendo necessária a diversificação da matriz energética.

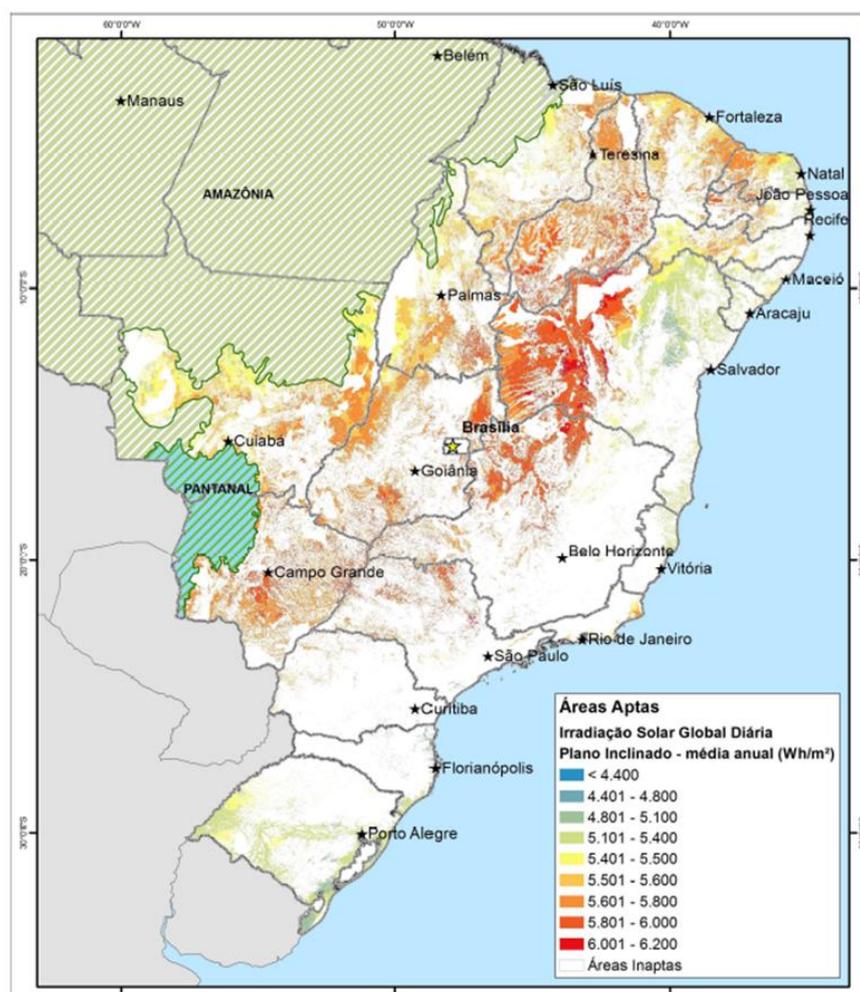
2.4 Energia Solar

A incidência solar no mundo é imensamente maior que a necessária para produção e consumo, porém o acesso a essa energia “depende de diversos fatores, dentre os quais a latitude, a estação do ano e as condições atmosféricas” (BEZERRA, 2020, p. 4). Isso torna favorável, em todos os sentidos, a adoção da energia solar para

o Brasil, já que a irradiação recebida no país, principalmente no Nordeste, garante grande potencial de geração de energia juntamente com a grande extensão territorial (BEZERRA, 2020).

Um estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estimou o potencial técnico da geração de energia solar centralizada no território brasileiro, chegando a possível produção de 307GWp. Ressalta-se que foram excluídas do estudo as áreas de vegetação nativa, áreas urbanizadas, áreas de quilombola e indígenas, áreas de preservação, contabilizando somente o espaço territorial com as melhores irradiações disponíveis para instalações de parques solares. (TOLMASQUIM, 2016)

Figura 5: Irradiação Solar no Brasil



Fonte: Tolmasquim (2016)

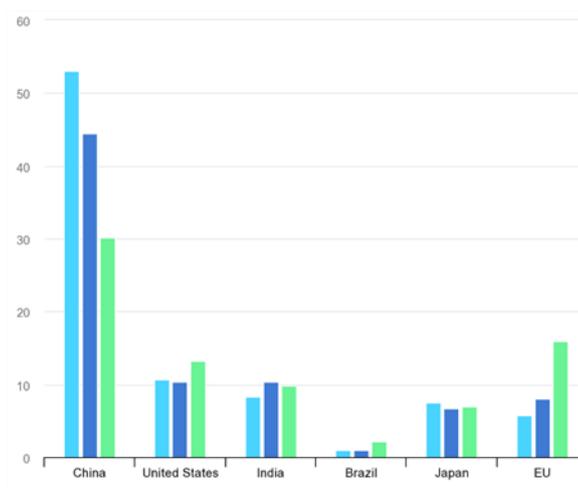
3 USO DA ENERGIA SOLAR NO MUNDO E NO BRASIL

Pereira (2019) apresenta o panorama do desastre nuclear em Fukushima em 2011, quando muitos países europeus e asiáticos começaram a desativar suas usinas nucleares e a incentivar a produção de energias sustentáveis, destacando-se a Alemanha e o Japão pelo uso de energia fotovoltaica e os Estados Unidos pela produção de placas fotovoltaicas.

O autor também ressalta que, no panorama mundial, a China alcançou o posto de maior produção de energia fotovoltaica em 2015 e representou 54% da capacidade de energia instalada em 2017 (PEREIRA, 2019).

Dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2020) mostram que o uso da energia fotovoltaica aumentou em 22% no ano de 2019, sendo a segunda maior fonte de energia renovável utilizada. Os Estados Unidos, Europa e Japão possuem fortes políticas de incentivo ao uso de energia solar em residências, comércios e indústrias, com o crescimento exponencial do setor fotovoltaico. A capacidade chinesa diminuiu consecutivamente de 2017 para 2019, entretanto continua liderando o setor mundial (IEA, 2020).

Figura 6: Capacidade de energia fotovoltaica entre 2017-2019, na China, EUA, Índia, Brasil, Japão e União Europeia

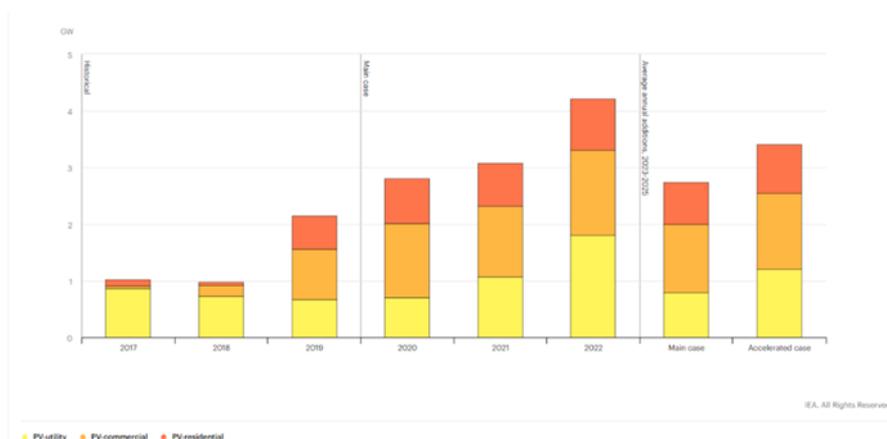


Fonte: IEA (2020). Disponível em: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. Acesso em: 11 mar. 2021.

Em relação ao uso da energia fotovoltaica no Brasil, Batista et al. (2020) ressaltam a condição favorável do país em relação a incidência solar e a facilidade de acesso ao quartzo, matéria prima necessária para produção do silício, componente das placas solares.

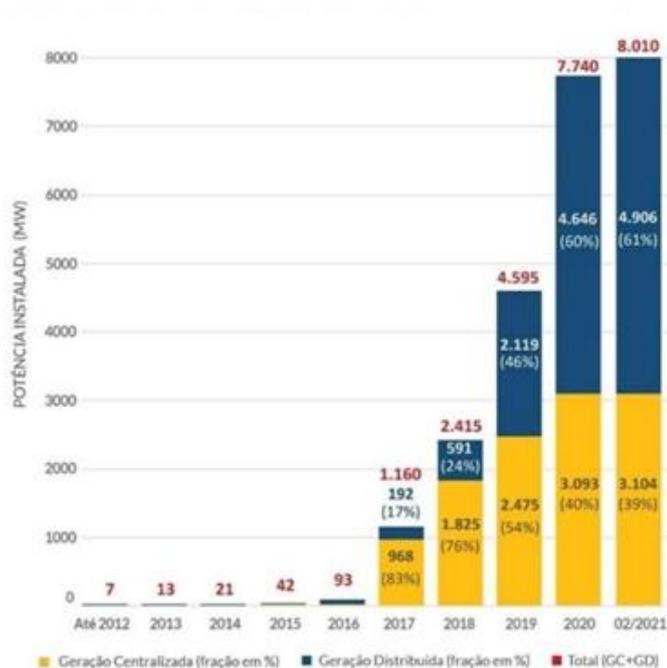
O Brasil é mencionado no relatório do IEA (2020) devido ao aumento recorde de instalação de placas fotovoltaicas de 2018 para 2019, mais do que dobrando a capacidade de produção, com retorno significativo para consumidores em residência e em comércios. Segundo a Agência internacional de Energia (IEA, 2020, tradução nossa), as previsões são de que a produção de energia fotovoltaica cresça tanto nos setores privados (residencial e comercial) quanto em usinas solares.

Figura 7: Crescimento da capacidade fotovoltaica no Brasil para os anos 2007 à 2009, 2020 à 2022 e projeção para os anos seguintes



Fonte: IEA (2020). Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/brazil-solar-pv-capacity-additions-2017-2022-and-average-annual-additions-2023-2025>. Acesso em: 11 mar. 2021.

Figura 8: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2021). Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.1 Componentes do Sistema

“A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores” (BORTOLOTO et al., 2017, p. 2). Em 1839, o físico Edmond Becquerel observou que certos materiais, quando expostos à luz, geravam pequenas correntes elétricas. Já as primeiras células fotovoltaicas foram desenvolvidas entre 1954 e 1956 (GOETZE, 2017).

Um dos materiais mais comuns para produção das células fotovoltaicas é o silício, que é capaz de converter a radiação em energia. No mercado, são encontradas células de silício monocristalinas (mais eficientes), policristalinas (mais baratas) e amorfo (menos eficientes, mais baratas e mais resistentes). Outras tecnologias para células fotovoltaicas já estão sendo desenvolvidas, visando eficiência e menores custos (GOETZE, 2017).

Figura 9: Tipos de placas solares - da esquerda para direita, placa monocristalina, policristalina e filme fino.

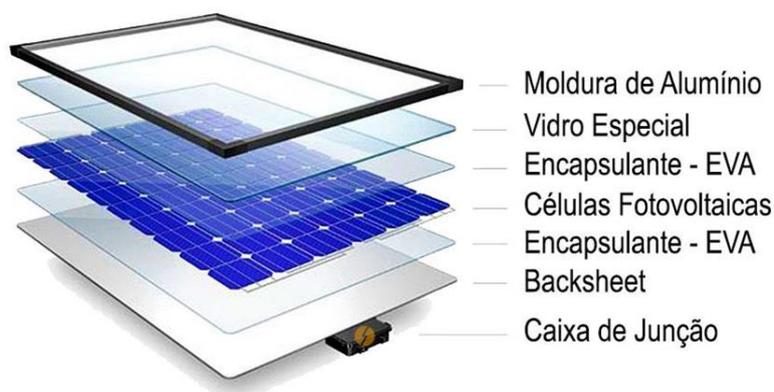


Fonte: Portal Solar (s.d.). Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 11 mar. 2021.

Goetze (2017) define que a junção dessas células em série e/ou em paralelo forma os chamados módulos ou placas fotovoltaicas e a junção de vários módulos resulta em painéis fotovoltaicos. Desde os primeiros painéis fotovoltaicos até o presente momento, a composição do sistema é basicamente a mesma, apresentando um grande aumento na capacidade de produção energética, graças ao avanço da tecnologia (RIBEIRO et al., 2019, p 8).

Além das células fotovoltaicas, os módulos são formados por estruturas de alumínio, que fixam as placas, seladas com adesivo que protege a entrada de umidade e vibrações, vidro especial, filme condutor/protetor e o *backsheet*, material isolante. Os outros componentes do sistema são cabos, conectores, estrutura e componentes elétricos como o inversor (TOLMASQUIM, 2016 apud COUTINHO, 2019).

Figura 10: Construção do Paine Solar



Fonte: Portal Solar (s.d.). Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em: 11 mar. 2021.

Os módulos solares geram energia em correntes elétricas contínuas (CC), que dependem da temperatura de operação da célula e da irradiação a qual estão sujeitos. Para a conversão da corrente contínua (CC) para a corrente alternada (CA) são utilizados os inversores, dispositivos eletrônicos que controlam a saída da frequência gerada (GOETZE, 2017).

Figura 11: Microinversor que desempenha as mesmas funções do tradicional inversor



Fonte: Portal Solar (s.d.). Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/micro-inversor-solar-grid-tie.html>. Acesso em: 11 mar. 2021.

Atualmente está em desenvolvimento a tecnologia *Building-integrated photovoltaics*, onde a célula fotovoltaica é integrada ao material construtivo, como telhas e vidros. Essa alternativa para a geração distribuída ainda está em evolução e não tem previsão de uso no Brasil (MME; EPE, 2020).

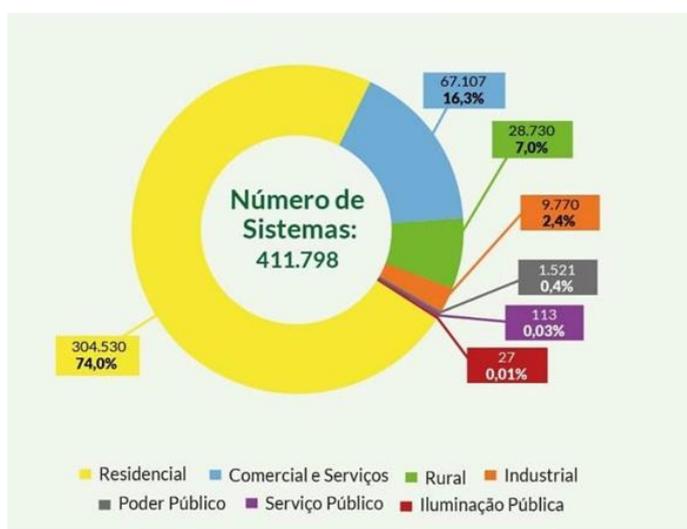
4.2 Tipologia do Sistema

Existem três tipos de subsistemas geradores definidos pelo SIN (Sistema Interligado Nacional). As grandes usinas afastadas dos centros consumidores compõem a geração centralizada (*on grid* ou *grid tie*), já usinas de pequeno porte próximas ou instaladas junto aos consumidores compõem a geração distribuída (*on grid*). Por fim, as regiões remotas, que não possuem acesso ao sistema nacional, seja por inviabilidade econômica ou ambiental, compõem o sistema isolado (*off grid*) (CALDAS; MOISÉS, 2016).

Caldas e Moisés (2016) caracterizam o sistema *off grid* como aquele que não é conectado à rede elétrica. A energia proveniente das placas fotovoltaicas é usada diretamente por aparelhos ou fins específicos, sendo a energia excedente armazenada em baterias.

No sistema de geração distribuída *on grid*, a energia gerada pelas placas solares é conectada diretamente na rede pública. Placas fotovoltaicas convertem a radiação solar em energia compatível com a rede elétrica, seja por corrente contínua ou alternada, podendo ser um grande conjunto de placas em usinas centralizadas ou de pequeno porte integradas ao consumidor (CALDAS; MOISÉS, 2016).

Figura 12: Geração solar distribuída conforme classe de consumo



Fonte: ABSOLAR (2021). Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

4.3 Normativas

Conforme resolução normativa 482/2012 da ANEEL, a energia gerada e excedente do sistema distribuído *on grid* vão para a rede pública, garantindo créditos, e caso o inverso ocorra, o usuário paga a diferença a concessionária, é o chamado sistema de compensação (CALDAS; MOISÉS, 2016).

4.4 Instalação

A EPE simulou a instalação de placas fotovoltaicas em telhados residenciais, levando em consideração vários fatores como a irradiação solar no país, a área disponível de telhados para instalação e a eficiência de transformar o recurso solar em eletricidade. Assim, conclui-se que o potencial de geração das regiões mais povoadas é muito superior que o consumo residencial de todos os estados do país (ROSA; GASPARIN, 2016).

Para a instalação do sistema fotovoltaico em uma residência devem ser analisados: a disponibilidade do espaço; o direcionamento do telhado; a incidência solar; os elementos que podem gerar sombreamento; presença de superfícies reflexivas; e as trocas de calor que podem alterar o desempenho dos módulos fotovoltaicos, que devem ser posicionados na orientação e inclinação que melhor captar a radiação solar (COUTINHO, 2019).

4.5 Manutenção

A vida útil declarada pelos fabricantes de placas fotovoltaicas é de 25 anos, ocorrendo na prática somente a diminuição da potência do equipamento (MME; EPE, 2020). Segundo o engenheiro Gustavo Santos, responsável pela empresa de instalação do sistema fotovoltaico na cidade do estudo em questão, “a manutenção de um sistema fotovoltaico bem instalado quase não vai existir”. Já que a limpeza dos

painéis com água e sabão é o suficiente para retirar poeiras e aumentar a eficiência dos mesmos, e uma revisão elétrica e reapertar parafusos podem ocorrer como vistorias simples.

4.6 Desafios

A implementação do sistema fotovoltaico tem como barreira a falta de incentivo governamental, em razão da matriz energética nacional ser considerada limpa e não haver cobranças em relação a redução da emissão de gases poluentes. Há também o interesse das grandes concessionárias de não perderem receita a longo prazo (SIMONE, 2019 apud COUTINHO, 2019).

Por se tratar de um sistema implementado relativamente há pouco tempo no cenário nacional, a falta de conhecimento dos benefícios ambientais e econômicos e a falta de mão de obra qualificada para a instalação e manutenção do sistema fotovoltaico também influenciam na adesão e popularização do setor (COUTINHO, 2019).

O retorno financeiro da instalação do sistema fotovoltaico é outra barreira para a popularização do sistema, devido ao retorno de médio prazo e, por se tratar de componentes onerosos, o acesso a esse tipo de energia ainda é inabitual (ROSA; GASPARIN, 2016). Um dos motivos do alto valor do sistema é que, apesar de o Brasil possuir reservas de quartzo, mineral do qual é extraído o silício, o país não tem fabricantes do silício purificado e também de alguns outros componentes do sistema, sendo assim necessária a importação (COUTINHO, 2019).

Como desafio ambiental, o descarte dos módulos fotovoltaicos ainda é uma questão a ser solucionada (MME; EPE, 2020).

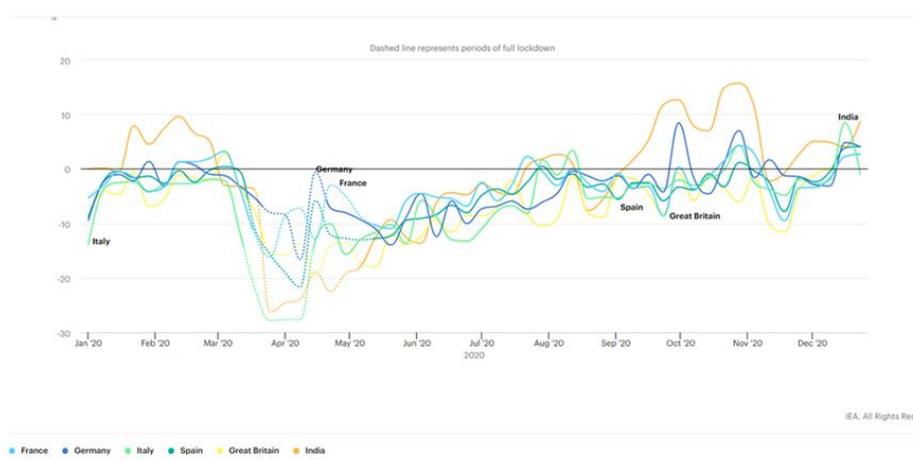
5 IMPACTO DA COVID-19

O relatório da IEA (2020) apresentou os impactos da Covid-19 em curto prazo na produção de energia, incluindo a energia renovável em 2020. Como tentativa de conter o vírus espalhado por quase todo o mundo, muitos países impuseram o

distanciamento social e a paralisação das atividades econômicas. Aproximadamente 4,2 bilhões de pessoas estavam em *lockdown* parcial ou total no mês de abril de 2020.

A diminuição da demanda energética foi variável de acordo com cada país e tempo de *lockdown*, aumentando o uso residencial e diminuindo a utilização nos setores comerciais e industriais. Assim, a demanda do setor elétrico caiu em quase 20% no mês de abril e começou a se recuperar à medida que a rigidez do *lockdown* diminuía, conforme ilustrado pela Figura 13.

Figura 13: Demanda energética em 2020 - Períodos de *lockdown* completo estão tracejados



Fonte: IEA (2020)

Durante os períodos de *lockdown*, devido a diminuição da demanda energética total, as fontes de energia renovável tornaram-se prioritárias, correspondendo a 46% da energia gerada, porém dependentes das condições climáticas.

6 METODOLOGIA

O trabalho será baseado em pesquisas de artigos, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e consultas na internet para contextualização do tema em relação a matriz energética e energia solar. Para a simulação do sistema fotovoltaico na residência já construída, serão utilizados dados de sites de simulação (LIMA, 2019) e levantamentos sobre a residência em questão, como consumo de energia,

equipamentos utilizados e disposição arquitetônica. Para essa análise, foram utilizadas técnicas baseadas em indicadores de desempenho com estimativas dos investimentos iniciais, custos de operação, manutenção, receitas e despesas.

6.1 Estudo de Caso: Sistema Fotovoltaico Residencial

6.1.1 Sistema fotovoltaico analisado

O sistema fotovoltaico utilizado como exemplo e comparativo para o estudo de caso está instalado ao lado da residência a ter o sistema simulado, no município de Santo Antônio do Monte, há quase 200 km de distância da capital Belo Horizonte, em Minas Gerais, como mostram as Figuras 14 e 15.

Figura 14: Localização de Santo Antônio do Monte em Minas Gerais



Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

Figura 15: Em destaque vermelho, está a edificação utilizada como exemplo; em azul, a utilizada para simulação



Fonte: Google Earth (2021) adaptada pela Autora (2021)

Por serem residências vizinhas e com tipologias parecidas, ambas têm as mesmas condições climáticas e de radiação, mas se diferenciam pelo telhado de fibrocimento e sem sombreamento. A edificação utilizada para fins comparativos tem uso misto e o sistema usado é *on grid*, dimensionado com potência de 4,62kWp, com 14 módulos fotovoltaicos de placas policristalinas, um inversor e quadro de proteção CA bifásico. Para a instalação dos módulos foram utilizados 30 m² da área total do telhado.

Figura 16: Edificações utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho; em tons cinza, a analisada; em tons bege, a simulada; localizadas na Av. Francisco Teotônio de Castro.



Fonte: Autora (2021)

Figura 17: Inversor Solar



Fonte: Autora (2021)

6.1.2 Sistema fotovoltaico simulado

6.1.2.1 Características da Edificação

A residência utilizada para simular a instalação do sistema fotovoltaico está localizada na cidade de Santo Antônio do Monte, Minas Gerais, como ilustrado na Figura 18. A edificação possui: 3 quartos; 1 suíte; 2 banheiros; 2 cozinhas; despensa; sauna; área gourmet; lavanderia; salas e varandas, totalizando área de 280 m².

O telhado segue estilo colonial com várias águas, com telhas cerâmicas beiges e área de 380 m². Não há possibilidade de sombreamento por vizinhos e tem inclinação de 25%.

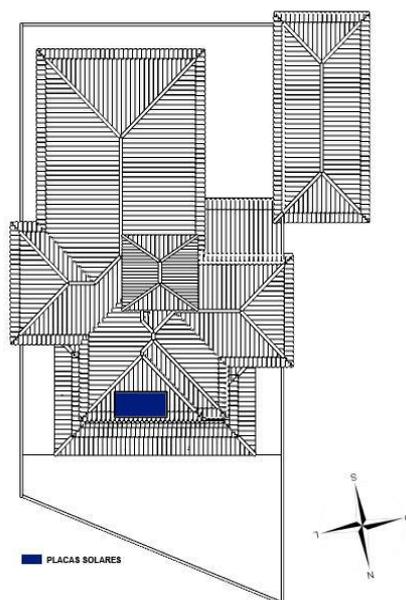
Figura 18: Edificação utilizada para simulação do sistema fotovoltaico



Fonte: Autora (2021)

A residência possui placas de aquecimento solar, o que já reduz significativamente o uso de energia elétrica. Os painéis solares para aquecimento de água atendem ao chuveiro da suíte e do banho social e levam água aquecida para as torneiras de ambos, além de aquecerem a água das duas cozinhas.

Figura 19: Localização das placas solares da residência



Fonte: Autora (2021)

As placas solares para aquecimento já foram instaladas na construção da residência e, portanto, já possuem 18 anos de uso. O sistema auxiliar para períodos sem radiação solar é o acionamento da resistência presente no boiler, que é ligada no quadro elétrico. Outro fator importante é o pavimento térreo de uso comercial que no momento não se encontra em utilização, portanto não teve entrada no cálculo de área e cálculo orçamentário e a análise priorizou o uso residencial.

6.1.2.2 Consumo Médio

A proposta de instalação considera o maior consumo mensal do ano e por meio de uma análise foi constatado que os aparelhos de maior demanda energética são as lavadoras de roupa e louça, ferro de passar e ar condicionado.

Tabela 1: Tabela com o consumo energético mensal da edificação simulada e os aparelhos de maior consumo

SIMULADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA										
EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	POTÊNCIA		DIAS DE USO	TEMPO DE USO			TOTAL (kWh)	TOTAL (R\$)	
Ar condicionado	3	800 W		(DIAS/MÊS) 5	HORAS 3	MINUTOS 0		36,00	30,24	
Batedeira	1	180 W		(DIAS/MÊS) 1	HORAS 0	MINUTOS 10		0,03	0,03	
Carregador de celular	4	15 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 12	MINUTOS 0		21,60	18,14	
Chapinha de cabelo	1	60 W		(DIAS/MÊS) 8	HORAS 0	MINUTOS 30		0,24	0,20	
Computador/notebook	2	180 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 4	MINUTOS 0		43,20	36,29	
Ferro de passar	1	1000 W		(DIAS/MÊS) 5	HORAS 5	MINUTOS 0		25,00	21,00	
Forno elétrico	1	1500 W		(DIAS/MÊS) 5	HORAS 1	MINUTOS 0		7,50	6,30	
Geladeira	1	130 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 24	MINUTOS 0		93,60	78,62	
Lâmpada LED 8W	17	8 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 4	MINUTOS 0		16,32	13,71	
Lâmpada Flu. 40W	12	40 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 0	MINUTOS 20		4,80	4,03	
Lavadora de roupa	1	1000 W		(DIAS/MÊS) 8	HORAS 5	MINUTOS 0		40,00	33,60	
Lavadora de louça	1	1000 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 0	MINUTOS 30		15,00	12,60	
Liquidificador	1	300 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 0	MINUTOS 10		1,50	1,26	
Microondas	1	1500 W		(DIAS/MÊS) 20	HORAS 0	MINUTOS 10		5,00	4,20	
Micro system	1	15 W		(DIAS/MÊS) 5	HORAS 0	MINUTOS 10		0,01	0,01	
Sanducheira	1	750 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 0	MINUTOS 10		3,75	3,15	
Secador de cabelo	1	900 W		(DIAS/MÊS) 8	HORAS 0	MINUTOS 30		3,60	3,02	
Tanquinho	1	270 W		(DIAS/MÊS) 8	HORAS 3	MINUTOS 0		6,48	5,44	
Televisão	3	150 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 1	MINUTOS 0		13,50	11,34	
Purificador	1	70 W		(DIAS/MÊS) 30	HORAS 24	MINUTOS 0		50,40	42,34	

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro/2020	360
Fevereiro/2020	317
Março/2020	303
Abril/2020	358
Maio/2020	309
Junho/2020	367

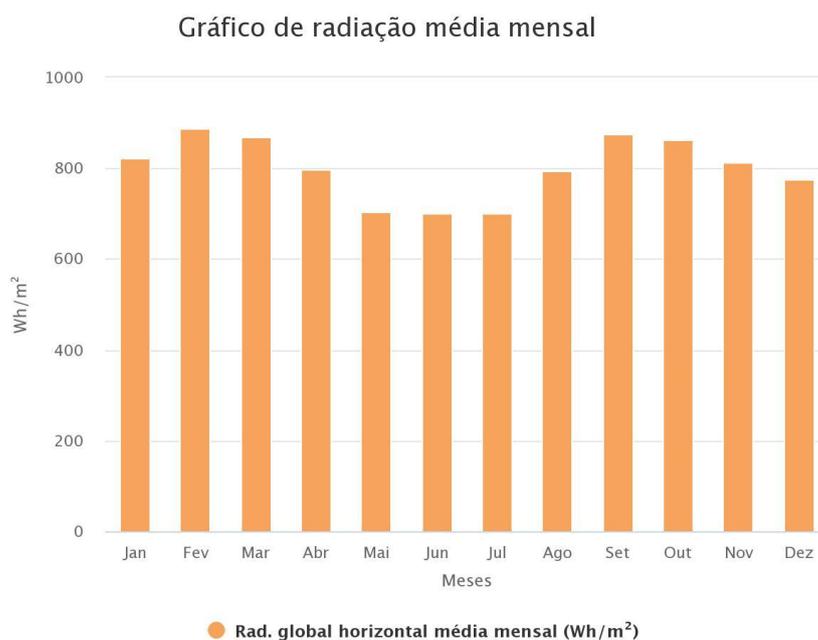
Julho/2020	311
Agosto/2020	350
Setembro/2020	378
Outubro/2020	393
Novembro/2020	350
Dezembro/2020	304
Janeiro/2021	312

Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

6.1.2.3 Simulação

Segundo o PROJETEE, a cidade que deve ser usada de referência é Dores do Indaiá, que está localizada na Zona Bioclimática 3, já que Santo Antônio do Monte não possui dados catalogados na plataforma e está inserido na mesma zona. Dessa forma, a radiação recebida no município é acima de 600Wh/m^2 .

Figura 20: Radiação média mensal do município



Fonte: PROJETEE, 2021. Disponível em: mme.gov.br/projeteer/dados-climaticos/?cidade=MG-Dores%20do%20Indaiá&id_cidade=bra_mg_dores.do.indaiia.867970_inmet. Acesso em: 22 mar. 2021.

A empresa Fotosolar foi escolhida nesse estudo para simular a instalação do sistema fotovoltaico, a qual incluiu o valor do projeto no custo total do sistema o projeto eletromecânico, a aquisição de todos os materiais e a instalação do sistema.

6.1.3 Resultados

Com base no consumo da residência foi proposto o uso de 6 placas de 400Wp com a geração estimada de 288KWh/mês tendo o inversor 3,3kW de potência e folga de 4 módulos – 1,60kWp, resultando em um custo médio do kWh em R\$0,90. Dessa forma, o *payBack* simples seria de 3,96 anos

7 CONCLUSÃO

A crescente demanda energética mundial impôs a busca pela diversificação das fontes de energia e novas tecnologias para o desenvolvimento humano, como alternativa sustentável e viável. Este trabalho teve como objetivo aplicar um sistema de geração fotovoltaico em uma residência já edificada e discorrer sobre o panorama energético fotovoltaico.

No primeiro momento do trabalho é apresentada a situação macro da matriz energética e o embasamento do conhecimento sobre fontes energéticas e energia sustentáveis. No decorrer do trabalho, tem-se uma visão aproximada da realidade nacional e detalhamento do sistema fotovoltaico, levando ao exercício prático de aplicação de um sistema fotovoltaico em residências unifamiliares.

Para obtenção dos dados demonstrativos do resultado da pesquisa, foram utilizados gráficos e tabelas e, por meio de buscas teóricas, foram estruturadas as vantagens e desvantagens do sistema fotovoltaico e a viabilidade de aplicação no estudo de caso.

Os resultados apontaram que o uso de energia solar é benéfico financeiramente para o proprietário do imóvel e economicamente viável, sendo imensurável em questões ambientais.

REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório: Perdas de Energia na Distribuição**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia_+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2019-02-07.pdf/d7cc619e-0f85-2556-17ff-f84ad74f1c8d. Acesso em: 11 fev. 2021.
- BATISTA, W. A. *et al.* Energias Sustentáveis: a viabilidade econômico financeira da utilização de energia solar no Brasil. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, Franca, v. 23, ed. 3, p. 275-290, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unifacef.com.br/index.php/facefpesquisa/article/view/1865>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- BEZERRA, F. D. Energia solar. **Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 5, n.110, mar. 2020. (Série Caderno Setorial ETENE, n.110). Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6888946/110_Energia+Solar.pdf/da714c4b-2e47-825b-1bc6-6389432166f1. Acesso em: 11 fev. 2021.
- BORTOLOTO, V. A. *et al.* Geração de Energia Solar *On Grid* e *Off Grid*. **VI Jornacitec**, Botucatu, 2017. Disponível em: <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- CALDAS, H. H. S.; MOISÉS, A. L. S. Geração Fotovoltaica Distribuída: estudo de Caso para Consumidores Residenciais de Salvador - BA. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 164-180, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/45270/pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- COUTINHO, F. J. **Uso de energia fotovoltaica em edificação**: vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional. Orientador: Prof. Jorge dos Santos. 2019. 74 p. Projeto de Graduação (Bacharel em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/repository/download.php?arquivo=monopoli10029432.pdf&fcodigo=4186>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **ABCDEnergia: Fontes de Energia**. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#:~:text=As%20fontes%20f%C3%B3sseis%20s%C3%A3o%3A%20o,mais%20sobre%20os%20f%C3%B3sseis%20aqui>). Acesso em: 22 mar. 2021.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional: Relatório Síntese 2021**, ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2020, 73 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021
- FEITOSA NETO, S. A. Prefácio. In: PRADO JUNIOR, F. A. A.; LEONE FILHO, M.; PEREIRA, O. L. S. **Integração de Renováveis Intermitentes**: um modelo de simulação da operação do sistema elétrico brasileiro para apoio ao planejamento, operação, comercialização e regulação. 1ª ed. Rio de Janeiro: Synergia, p. 11-16, 2020.

GOETZE, F. **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial**: estudo de caso. Orientador: Roberto Chouhy Leborgne. 2017. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169263/001049569.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 mar. 2021.

IEA – International Energy Agency. **Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025**. Paris, 2020. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/1a24f1fe-c971-4c25-964a-57d0f31eb97b/Renewables_2020-PDF.pdf. Acesso em: 11 fev. 2021.

LIMA, A. 1 Vídeo (10 min). Planilha Excel para Dimensionamento Sistema *On-Grid*. **Publicado pelo canal Curso Elétrica e Cia**, 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Jw4lh0UxA5Q>. Acesso em: 22 mar. 2021.

MME – Ministério de Minas e Energia; EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050**: Versão para consulta pública. Rio de Janeiro: EPE, 2020, 9 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 22 mar. 2021.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. **SINDAT**: Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do SIN. 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas#>. Acesso em: 22 mar. 2021.

PEREIRA, N. X. **Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**: Geração Distribuída vs Geração Centralizada. Orientador: Prof. Dr. Antônio Cesar Germano Martins. 2019. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181288/pereira_nx_me_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 22 mar. 2021.

PEREIRA, D. S.; SILVA NETO, R. Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática. **Meio Ambiente (Brasil)**, v.3, n.1, p.02-21, 27 nov. 2020. Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/75>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/download/157/155/309>. Acesso em: 20 mar. 2022.

SILVA, F. S. C.; HAYASHI, G. K.; SANGIULIANO, G. U. **Sustentabilidade**: Desafio 1 - Energia. Orientador: Dr. Arnaldo José de Hoyos Guevara. 2020. 41 p. Trabalho desenvolvido para a Disciplina de Sustentabilidade (Programa de Pós-Graduação em Administração e Programa de Pós-Graduação em Economia FEA/PUC-SP) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/d1-energia.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300019>. Disponível em: scielo.br/j/qn/a/jKDr7jyNw7p5TcqDvXSfx3t/?lang=pt. Acesso em: 17 jul. 2021.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável**: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2021.