

**Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia**

MAURO SÉRGIO REZENDE VERSIANI

Análise Técnica e Financeira de um Sistema fotovoltaico residencial em Minas Gerais

Ouro Preto
2023

Mauro Sérgio Rezende Versiani

**Análise Técnica e Financeira de um Sistema Fotovoltaico
Residencial em Minas Gerais**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Produção.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino

Ouro Preto
2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

V563a Versiani, Mauro Sergio Rezende.
Análise técnica e financeira de um sistema fotovoltaico residencial em Minas Gerais. [manuscrito] / Mauro Sergio Rezende Versiani. - 2023.
42 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

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

1. Geração distribuída de energia elétrica. 2. Controle de produção. 3. Geração de energia fotovoltaica. I. Flausino, Bruna. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Mauro Sérgio Rezende Versiani

Análise técnica e financeira de um sistema fotovoltaico residencial em Minas Gerais

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

Aprovada em 03 de agosto de 2023

Membros da banca

DSc Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
DSc Magno Silvério Campos - Universidade Federal de Ouro Preto
DSc Yá Grossi Andrade - Universidade Federal de Ouro Preto

Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/08/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Bruna de Fatima Pedrosa Guedes Flausino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2023, às 14:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



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



Documento assinado eletronicamente por **Magno Silverio Campos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/08/2023, às 11:20, 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 **0568300** e o código CRC **07461936**.

Dedico este trabalho a todos aqueles que acreditaram em mim e me apoiaram. Em especial ao meu pai, Renato, que sempre me orientou e ajudou em todos os passos da vida. Aos meus avós Jairo, Aparecida, Paulo e Lúcia por serem meu refúgio e abrigo por todos esses anos. Por fim, dedico este trabalho a toda minha família e amigos que estão na caminhada comigo.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente a Deus, por me dar força e coragem para enfrentar tantos desafios em minha vida, sem Ele nada seria possível.

À minha família e amigos pelo suporte e apoio nos momentos adversos, especialmente ao meu pai, Renato, que sempre me amparou e incentivou a lutar pelos meus objetivos.

À República Alcateia por tantos ensinamentos e vivência, à Universidade Federal de Ouro Preto pelo Ensino Público de qualidade e ao Departamento de Engenharia de Produção por se empenhar a formar excelentes profissionais.

Agradeço, também, ao corpo docente do DEPRO, em especial à minha orientadora Bruna Flausino e aos professores Gustavo Nikolaus e Davi Neves por fazerem parte e contribuírem na minha formação.

No mais, deixo meu agradecimento a todos aqueles que não foram citados diretamente, mas que tiveram papel essencial na minha jornada até aqui. Muito obrigado.

“Combati o bom combate, terminei a corrida, guardei a fé. Agora me está reservada a coroa da justiça, que o Senhor, justo Juiz, me dará naquele dia; e não somente a mim, mas também a todos os que amam a sua vinda.”

2 Timóteo 4:7-8

Resumo

O presente trabalho aborda os aspectos técnicos e econômicos de geração de um sistema fotovoltaico residencial em Minas Gerais, Brasil. O estudo incluiu uma análise bibliográfica do potencial solarimétrico do país e da região, além de um histórico da energia solar no Brasil, considerando suas normas e leis. O estudo de caso apresentou uma análise financeira em três cenários, revelando a viabilidade econômica do investimento. O trabalho tem por objetivo determinar o payback do sistema estudado nos cenários. Os resultados demonstram a atratividade dessa opção energética, cerca de 86% de retorno sobre o investimento após cinco anos, considerando a utilização total da energia produzida, apontando para economia ao longo do tempo e benefícios ambientais, incentivando a expansão da energia solar no setor.

Palavras-chave: Análise, geração fotovoltaica, produção, consumo, geração distribuída.

Abstract

The present work addresses the technical and economic aspects of generating a residential photovoltaic system in Minas Gerais, Brazil. The study included a bibliographic analysis of the country's and the region's solar potential, as well as a historical overview of solar energy in Brazil, considering its regulations and laws. The case study presented a financial analysis in three scenarios, revealing the economic viability of the investment. The objective of the work is to determine the payback of the studied system in the scenarios. The results demonstrate the attractiveness of this energy option, with approximately 86% return on investment after five years, considering the total utilization of the produced energy, indicating long-term savings and environmental benefits, encouraging the expansion of solar energy in the sector.

Keywords: Analysis, photovoltaic generation, production, consumption, distributed generation.

Lista de abreviaturas e siglas

ABRACE	Associação dos Grandes Consumidores Industriais de Energia
ABRACEEL	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	International Energy Agency
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
REN	Resolução Normativa

Lista de ilustrações

Figura 1 – Sistema conectado à rede de geração fotovoltaica.	15
Figura 2 – Sistema isolado de geração fotovoltaica	15
Figura 3 – Capacidade Instalada no Ano no setor residencial	16
Figura 4 – Número de Consumidores com MMGD no setor residencial	16
Figura 5 – Total diário da irradiação solar no território brasileiro	19
Figura 6 – Potencial Técnico de Geração Fotovoltaica em Telhados Residenciais por Unidade da Federação (GWh/dia)	19
Figura 7 – Radiação Solar média diária anual	20
Figura 8 – Dimensionamento para Unidades Consumidoras urbanas ou rurais aten- didas por redes de distribuição secundárias trifásicas (127/220V)	23
Figura 9 – Dimensionamento para Unidades Consumidoras urbanas ou rurais aten- didas por redes de distribuição secundárias trifásicas (127/220V) - Li- gações a 4 fios.	23
Figura 10 – Histórico do preço da energia fotovoltaica gerada	24
Figura 11 – Estimativa de payback médio por Estado (Residencial)	25
Figura 12 – Irradiação solar em Governador Valadares.	27
Figura 13 – Aquecedor solar.....	28
Figura 14 – Módulos fotovoltaicos instalados.	29
Figura 15 – Módulos fotovoltaicos instalados.	30
Figura 16 – Visão Geral do Sistema fotovoltaico	31
Figura 17 – Produção energética no ano de 2019.	31
Figura 18 – Produção energética no ano de 2020.	32
Figura 19 – Produção energética no ano de 2021.	32
Figura 20 – Produção energética no ano de 2022.	33
Figura 21 – Produção energética no ano de 2023.	33
Figura 22 – Custos do Sistema.	34
Figura 23 – Fatura Junho de 2019	35
Figura 24 – Primeiro cenário.	36
Figura 25 – Segundo cenário.	37
Figura 26 – Terceiro cenário (Parte 1)	38
Figura 27 – Terceiro cenário (Parte 2)	38
Figura 28 – Análise de Resultados.	39
Figura 29 – Economia total de CO2	40
Figura 30 – Economia de CO2 em km	40

Lista de tabelas

Tabela 1 – Radiação solar anual média em kWh/m ² /dia por microrregiões de Minas Gerais	21
--	----

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Geração Fotovoltaica	14
2.1.1	Evolução da Energia fotovoltaica no Brasil.....	15
2.2	Marco Legal da Geração Distribuída	17
2.3	Potencial Solar Brasileiro.....	18
2.3.1	Potencial Solar do Estado de Minas Gerais.....	20
2.4	Tarifas de Energia Elétrica	22
2.5	Retorno de Investimento.....	23
3	METODOLOGIA.....	26
4	ESTUDO DE CASO	27
4.1	A residência	27
4.2	O projeto.....	28
4.3	Análise Financeira do Sistema	33
4.3.1	Primeiro Cenário	35
4.3.2	Segundo Cenário	36
4.3.3	Terceiro Cenário	37
4.4	Análise de Resultados.....	39
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 Introdução

O setor Residencial brasileiro é o segundo setor que mais consome energia elétrica no país, atrás apenas do setor industrial. No ano de 2019 o setor residencial consumiu mais de 142,5 milhões de kWh (IEA, 2020) . Em contrapartida, o setor enfrenta dificuldades relacionadas aos aumentos expressivos do custo da energia elétrica nos últimos anos. No período de 2014 a 2021 a tarifa residencial acumulou um aumento de 114%, mais que o dobro da inflação no mesmo período (ABRACEEL, 2022).

Neste cenário, a busca por economia nas tarifas de energia tornou-se crescente, por consequência a busca por instalações de painéis fotovoltaicos como forma de garantir essa economia. Para a geração própria de energia solar fotovoltaica em 2022, projeta-se um crescimento de 105% frente ao total já instalado até 2021 (ABSOLAR, 2022). Motivada pela Resolução Normativa nº 482 que permite o consumidor gerar sua próxima energia conectada à rede de distribuição, expande o cenário do uso de energia fotovoltaica em residências familiares, além do comércio e indústria.

Como fator impulsionante, segundo a Abrace (2022), o Brasil é o segundo colocado no ranking dos países com a tarifa de energia elétrica mais altas do mundo. Portanto, a busca por baratear os custos a longo prazo se estende por todo o território nacional. Projeções apontam que em 2022 o país terminará o ano com mais de 90% de crescimento em capacidade instalada em energia fotovoltaica (ABSOLAR, 2022).

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é analisar o consumo de energia elétrica em uma residência localizada em Governador Valadares, Minas Gerais e calcular o retorno de investimento com a utilização de painéis fotovoltaicos.

Para isso tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudar a geração de energia fotovoltaica, apresentando seus principais aspectos;
- Avaliar o potencial solarimétrico brasileiro;
- Identificar a introdução da fonte fotovoltaica na matriz energética nacional;
- Analisar o histórico de tarifas e de produção energética referente à residência estudada;
- Comparar o consumo e a produção da residência para verificar a amortização do investimento ao longo do tempo.

2 Referencial teórico

Este capítulo apresenta os conceitos que se relacionam à geração de energia fotovoltaica e seus princípios de funcionamento, ao potencial energético fotovoltaico brasileiro, especialmente ao potencial energético fotovoltaico da região do Vale do Rio Doce em Minas Gerais, às tarifas de energia elétrica e à aplicação de análise financeira.

2.1 Geração Fotovoltaica

Tem-se conhecimento que o Sol sempre foi a principal fonte energética do planeta, energia essa utilizada com fins de aquecimento, iluminação, alimento e, além de inesgotável, é essencial para a garantia e manutenção da vida na Terra. A energia solar é uma fonte renovável e inesgotável, proveniente das radiações eletromagnéticas emitidas pelo sol, na forma de calor e luz (MOREIRA, 2021).

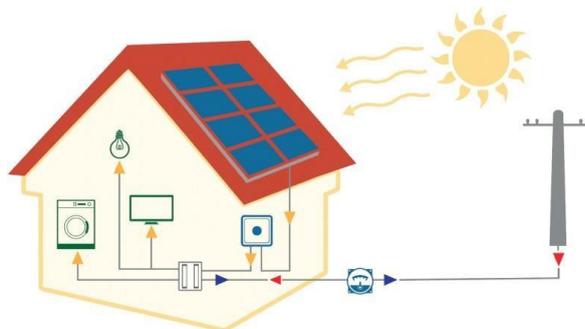
Segundo Balfour (2016) "A energia fotovoltaica é a ciência que usa a energia do Sol para produzir eletricidade". Essa energia solar, para ser convertida em energia elétrica para quaisquer fins necessita de um conversor, tais como os painéis fotovoltaicos. Segundo Pereira et al. (2017) "O aproveitamento do recurso energético solar consiste na conversão da energia emitida pelo Sol em energia térmica ou diretamente em energia elétrica (processo fotovoltaico)."

O painel fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas fabricadas a partir de materiais semicondutores capazes de absorverem a luz solar e transformarem em energia pelo efeito fotovoltaico. Efeito esse que é basicamente o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de um material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Segundo (BALFOUR, 2016) os sistemas fotovoltaicos tem a capacidade de serem customizados a depender da necessidade do consumidor e da finalidade de utilização. Os sistemas podem ser ligados à rede (On grid) ou isolados (Off grid).

Nos sistemas On grid, o funcionamento se dá com a captação da luz do sol pelos módulos e a transformação desta energia em corrente contínua. A corrente passa por um inversor e é transformada em corrente alternada, com o excesso de eletricidade produzido voltando para a rede (BLUESOL, 2022). A rede faz o uso da energia e as Unidades Consumidoras, portanto, recebem créditos a serem abatidos na tarifa de luz. Além dos módulos fotovoltaicos e os inversores de corrente, são necessários estruturas de suporte e fixação, cabeamento e conectores para fazer as ligações elétricas entre os equipamentos do sistema e a caixa de junção (String Box) que é conectada ao inversor e ao quadro de proteção da rede elétrica. A String Box tem por finalidade a proteção dos painéis fotovoltaicos contra surtos de rede, incêndios e demais danos elétricos, além de servir para ligar ou desligar a instalação para reparos e manutenções. A Figura 1 ilustra o

funcionamento da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica.

Figura 1 – Sistema conectado à rede de geração fotovoltaica.



Fonte: ABSOLAR.

No sistema off grid a diferença principal se dá por este não estar conectado ao Sistema Interligado Nacional, portanto é necessário o uso de baterias a fim de armazenar a energia produzida pelos painéis (BLUESOL, 2022). A Figura 2 ilustra o funcionamento da geração fotovoltaica isolada.

Figura 2 – Sistema isolado de geração fotovoltaica.



Fonte: NeoSolar.

2.1.1 Evolução da Energia fotovoltaica no Brasil

Com a criação do INPE, na década de 1970, iniciaram-se as pesquisas sobre energia solar e logo o país reconheceu o potencial energético elevado devido, principalmente, à localização geográfica favorável. A partir de 2011, o governo brasileiro passou a realizar leilões para a contratação de energia solar, incentivando o desenvolvimento de projetos solares, assim como a redução dos custos de tecnologia.

A partir de 2015, houve um crescimento exponencial da geração fotovoltaica no Brasil, explicado pela redução dos custos de tecnologia e pelo aumento da produção. A Figura

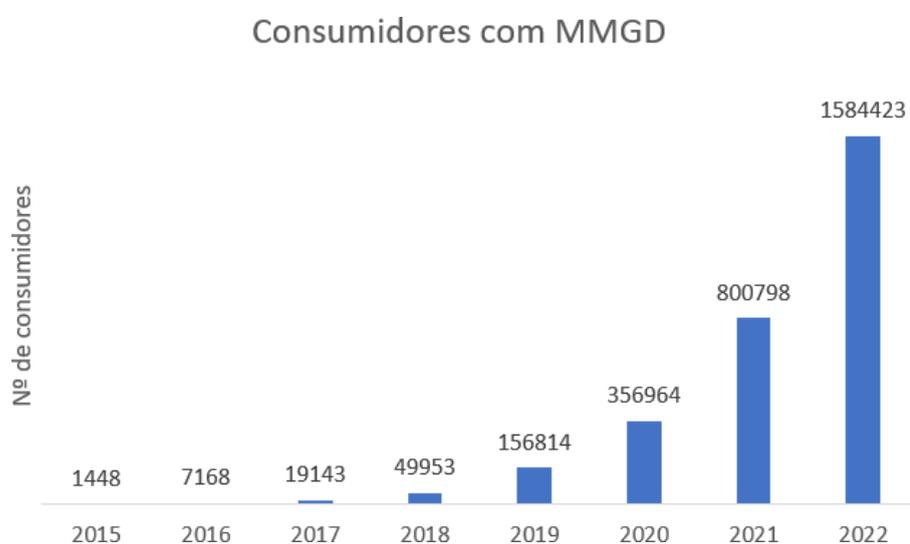
3 mostra a capacidade instalada, por ano, de energia fotovoltaica no setor residencial, evidenciando a busca crescente por sistemas fotovoltaicos no setor, ao passo que a Figura 4 mostra o número de consumidores totais com MMGD residencial no país.

Figura 3 – Capacidade Instalada no Ano no setor residencial.



Fonte: Adaptado. Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída - EPE.

Figura 4 – Número de Consumidores com MMGD no setor residencial.



Fonte: Adaptado. Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída - EPE.

2.2 Marco Legal da Geração Distribuída

A partir de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, possibilitou-se a injeção da energia ativa gerada por Unidade Consumidora com Geração Distribuída na rede. A geração distribuída é aquela realizada por consumidores independentes, na qual utiliza-se de fontes de energia renováveis ou combustíveis fósseis. Segundo a ANEEL

”Denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW). Já minigeração distribuída é aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 3 MW (podendo ser até 5 MW em situações específicas, nos termos dos incisos IX e XIII e do Parágrafo Único do art. 1º da Lei nº 14.300/2022). Ambas são conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.”(ANEEL, 2023).

A REN 482/2012 incentivou a geração de energia por fontes renováveis, como biomassa, eólica, solar, cogeração qualificada e pequenas centrais hidrelétricas, através de benefícios e incentivos, tais como isenção ou redução de encargos e tarifas e prioridade no acesso à rede elétrica. Criou-se também o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) no qual o excedente de energia produzido pelo sistema é injetado na rede elétrica e convertido em créditos de energia, podendo ser utilizado para abater o consumo nos momentos em que a geração é insuficiente.

Publicada em 2015 a REN nº 687/2015 definiu novos limites de potência para a MMGD. A potência máxima permitida que era de 100kW para sistemas de microgeração distribuída, passou a ser de 75kW, já o limite de 1MW para sistemas de minigeração distribuída passou para 5MW. Além disso, a resolução também introduziu o conceito de geração compartilhada, permitindo que múltiplos consumidores se unam em cooperativa ou consórcio para instalar um sistema de geração distribuída, de forma a compartilhar a energia gerada.

Promulgada em 2015, a Lei 13.169 estabelece a obrigação de aplicação de recursos da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) para fomentar a implantação de sistemas de MMGD no Brasil. Os recursos da CDE podem ser direcionados para as linhas de créditos, na qual a lei permite a criação de linhas de crédito específicas para o financiamento de sistemas de energia solar. Além das linhas de créditos, a lei também possibilita a concessão de subsídios que podem ser direcionados para a instalação de sistemas de energia solar, como em descontos nos equipamentos ou abatimento de parte do investimento necessário. Em 2022 com a lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022, instituiu-se a criação do Marco Legal da MMGD com a regulação das modalidades de geração. Entre as modalidades de participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) estão:

- Geração Junto à Carga: Geração de energia elétrica no mesmo local do consumo, com o sistema de geração, portanto, compartilhando do mesmo ponto de conexão de energia da unidade consumidora com a distribuidora.

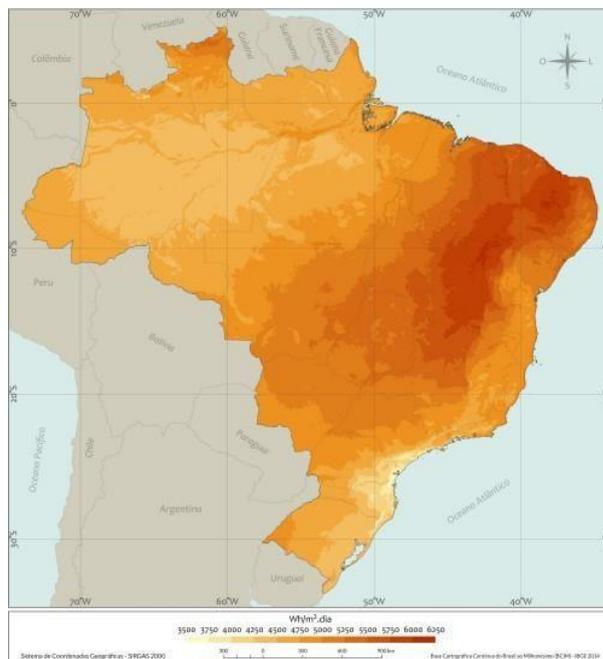
- Autoconsumo remoto: Consumidor que possui mais de uma unidade consumidora em sua titularidade dentro da mesma área de concessão ou permissão.
- Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras (Condomínios): Composto por diferentes unidades consumidoras que se situam em um mesmo local e utilizam a energia elétrica de forma independente.
- Geração Compartilhada: Reunião de consumidores que, por meio de consórcio ou cooperativa, e, dentro da mesma área de concessão, possuem diferentes unidades consumidoras.

A lei de 2022 promoveu a alteração do limite para sistemas de minigeração de energia, antes estabelecido em até 5MW, agora reduzido para 3MW. Além disso, novas regras de transição foram estabelecidas de forma que projetos desenvolvidos a partir de 6 de Janeiro de 2023 terão uma compensação parcial nas tarifas de energia, sendo que o pagamento das componentes tarifárias será de forma escalonada até 2045, enquanto os projetos desenvolvidos antes dessa data ainda permanecerão com a compensação integral.

2.3 Potencial Solar Brasileiro

Devido a uma série de características naturais, tais como os altos níveis de insolação, o Brasil é um país de grande potencial para a geração de energia solar fotovoltaica. Segundo Pereira et al. (2017) O Brasil possui um grande potencial para geração de energia fotovoltaica, uma vez que o local menos ensolarado do país, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha. A Figura 5 mostra o total diário da irradiação solar no território brasileiro.

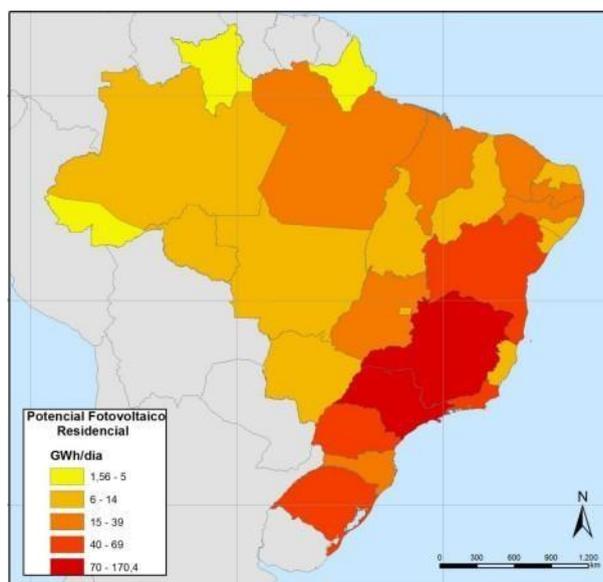
Figura 5 – Total diário da irradiação solar no território brasileiro.



Fonte: INPE 2017.

Como pode-se observar, próximo de sua totalidade, o território brasileiro apresenta alta quantidade de irradiação solar diária. Já a Figura 6 evidencia o potencial técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais por unidade de federação (GWh/dia).

Figura 6 – Potencial Técnico de Geração Fotovoltaica em Telhados Residenciais por Unidade da Federação (GWh/dia).



Fonte: EPE 2014.

Os resultados revelam que os maiores potenciais, em termos absolutos, estão nas regiões mais povoadas do país (EPE, 2014), não devido apenas a fatores da irradiação, mas pela maior área de domicílios, e por consequência, maior número de telhados que são as áreas aptas para a instalação de painéis fotovoltaicos.

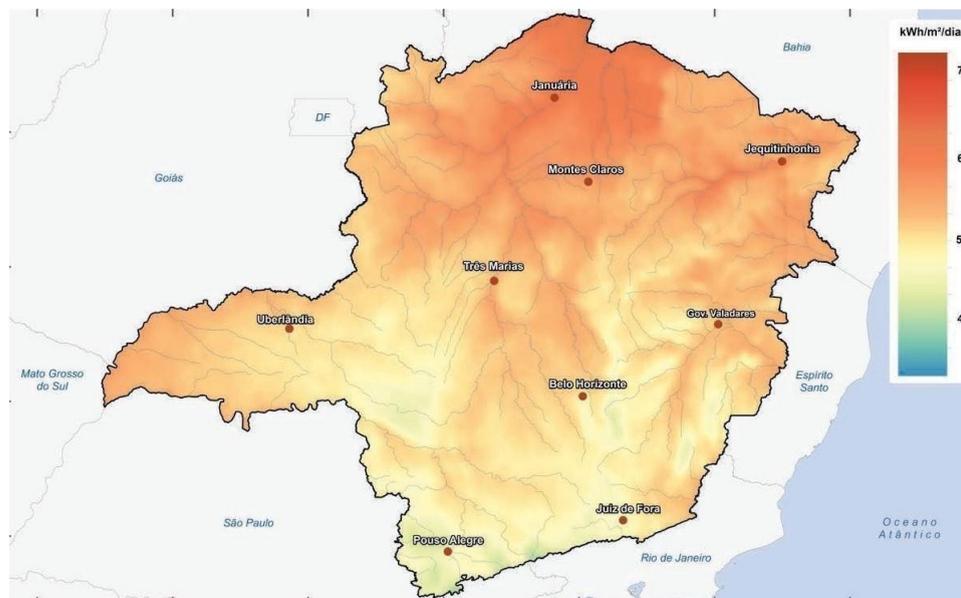
De acordo com Pereira et al. (2017) a adoção de geração fotovoltaica distribuída é tanto mais viável quanto mais cara for a tarifa de eletricidade convencional da distribuidora local e quanto maior for o índice de irradiação anual da região.

2.3.1 Potencial Solar do Estado de Minas Gerais

Para o desenvolvimento de projetos voltados a utilização do potencial fotovoltaico, é essencial o conhecimento sobre a disponibilidade deste recurso no território. (MARTINS; PEREIRA, 2011).

De acordo com os resultados obtidos na estimativa da radiação solar por meio de modelos utilizando imagens de satélites, é possível observar a radiação média anual em Minas Gerais, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Radiação Solar média diária anual.



Fonte: Atlas Solarimétrico de Minas Gerais Volume II.

De acordo com o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais desenvolvido pela CEMIG e ANEEL, constata-se que os meses de Janeiro e Fevereiro apresentam os maiores índices de irradiação solar diária do estado, com destaque para a região Norte e nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce, variando entre 5 e 7 kWh/m²/dia. Contudo, nos meses de Maio, Junho e Julho, as regiões Sul, Zona da Mata, Campo das Vertentes e os Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce apresentaram índices abaixo de 4 kWh/m²/dia.

Essa diferença é explicada pela estação do ano e os fatores climáticos decorrentes, como a nebulosidade.

Como resultado obtido das aferições por satélite no estado de Minas Gerais, obteve-se a média de radiação solar global nas microrregiões, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Radiação solar anual média em kWh/m²/dia por microrregiões de Minas Gerais.

Microregião	Anual
Januária	5.7
Janaúba	5.7
Montes Claros	5.6
Uberlândia	5.3
Três Marias	5.3
Uberaba	5.2
Sete Lagoas	5.2
Pará de Minas	5.2
Patos de Minas	5.2
Passos	5.2
Divinópolis	5.2
Belo Horizonte	5.2
Varginha	5
Lavras	5
Diamantina	5
Araxá	5
Araçuaí	5
Alfenas	5
São João Del Rei	4.8
Poços de Caldas	4.8
Nanuque	4.8
Itajubá	4.8
Conselheiro Lafaiete	4.8
Almenara	4.8
Teófilo Otoni	4.7
Ponte Nova	4.7
Ouro Preto	4.7
Itabira	4.7
Ipatinga	4.7
Governador Valadares	4.7
Conceição do Mato Dentro	4.7
Aimorés	4.7
Viçosa	4.6
Ubá	4.6
Muriaé	4.6
Barbacena	4.6
Juiz de Fora	4.5

Fonte: Adaptado. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais - Volume 2 (2016).

A partir de dados obtidos pelo Infográfico produzido pela ABSOLAR e ANEEL em Maio de 2023, constata-se que o Estado de Minas Gerais lidera o Ranking Estadual de Geração Centralizada no país, com Potência Instalada de 2.761,4 MW em operação, seguido pelo estado de Piauí com Potência Instalada de 1.466 MW. No Ranking Estadual de Geração Distribuída Minas Gerais ocupa a segunda posição com 2.684,3 MW de Potência Instalada, que corresponde a 13,1% da Potência Instalada de GD no Brasil, atrás apenas do estado de São Paulo que possui 2.800,3 MW.

Minas Gerais, portanto, é referência na utilização de energia solar fotovoltaica tanto pelo seu extenso território, quanto pela localização geográfica favorável, onde há índices de irradiação propícios para o investimento.

2.4 Tarifas de Energia Elétrica

Segundo a Abradee (2014) a tarifa de energia é o preço cobrado por unidade de energia (RS/kwh). A tarifa de energia elétrica dos consumidores cativos é constituída por:

- Custos com a aquisição de energia elétrica.
- Custos relativos ao uso do sistema de distribuição.
- Custos relativos ao uso do sistema de transmissão.
- Perdas técnicas e não técnicas.
- Encargos diversos e impostos.

Outro custo adicionado às Tarifas de Energia é a Bandeira Tarifária. Essas servem como um "semáforo" que indica a diferença de custo de geração de energia para os consumidores. A cor das bandeiras é definida pela Aneel, de acordo com as condições de geração energética (CEMIG, 2021).

A bandeira verde indica condições favoráveis de geração de energia, e não acarreta em nenhum acréscimo na tarifa. A bandeira amarela, que indica condições menos favoráveis acarreta em um acréscimo de 1,874 R\$ a cada 100 kWh consumidos. A bandeira vermelha possui 2 patamares, quando há gerações ainda mais custosas. No Patamar 1 há um acréscimo de 3,971 R\$ a cada 100kWh utilizados, enquanto no segundo patamar o acréscimo é de 9,492 R\$. A última bandeira é a de escassez hídrica que implica no acréscimo de 14,20 R\$ a cada 100 kWh utilizados (CEMIG, 2021).

Os consumidores de baixa tensão, classificados como Grupo B pela CEMIG, corresponde à Unidade Consumidora com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV ou atendida em tensão superior à mencionada e caracterizada pela estruturação tarifária monômnia. Segundo a CEMIG, há um custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B. Ou

seja, uma cobrança de consumo mínimo mensal de 30 kWh, se monofásico ou bifásico a dois condutores. 50 kWh, se bifásico a três condutores ou 100 kWh, se trifásico.

O que define se os ramais são monofásicos, bifásicos ou trifásicos é a carga instalada de equipamentos. As unidades consumidoras residenciais urbanas trifásicas podem ser de três tipos, A, B ou C, como mostram as Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Dimensionamento para Unidades Consumidoras urbanas ou rurais atendidas por redes de distribuição secundárias trifásicas (127/220V).

Fornecimento		Carga Instalada		Número de		Proteção	Ramal de Entrada			Aterramento		Condutor de Proteção	Poste (5)				Pontaleta (5)
Tipo	Faixa	de	até	Fios	Fase	Disjuntor termo magnético IEC	Condutor Cobre	Eletroduto		Condutor Cobre nu	Eletrodo		Mesmo Lado da Rede		Lado Oposto da Rede		Aço
							PVC – 70°C	PVC	Aço			Aço	Concreto	Aço	Concreto		
		kW				A	mm ²	mm		mm ²	Quantidade	mm ²	Tipo				Tipo
A	A3	6,4	8,0	2	1	63	16	32	25	10	1	16	PA1	PC1	PA4	PC2	PT1
B	B2	10,1	16,0	3	2	63											

Fonte: CEMIG (2022).

Figura 9 – Dimensionamento para Unidades Consumidoras urbanas ou rurais atendidas por redes de distribuição secundárias trifásicas (127/220V) - Ligações a 4 fios.

Fornecimento		Demanda Provável		Número de		Proteção	Ramal de Entrada			Aterramento		Condutor de proteção	Poste (5)				Pontaleta (5)	
Tipo	Faixa	de	até	Fios	Fases	Disjuntor termo magnético IEC	Condutor Cobre	Eletroduto		Condutor cobre nu	Eletrodo		Mesmo Lado da Rede		Lado Oposto da Rede		Aço	
							PVC – 70°C	PVC	Aço			Aço	Concreto	Aço	Concreto			
		kVA				A	mm ²	mm		mm ²	Quantidade	mm ²	Tipo				Tipo	
C	C2	15,3	24,0	4	3	63	16	32	25	10	2	16	PA1	PC1	PA4	PC2	PT1	
	C3	24,1	30,5			80	25	40	32				PA2					
	C4	30,6	38,1			100	35	50	40									
	C5	38,2	47,6			125	50	60	50				25	PA3	PC3	PA6	PC3	PT2
	C6	47,7	57,1			150	70	60	50									
	C8	57,2	75,0			200	95	75	65				3	35				

Fonte: CEMIG (2022).

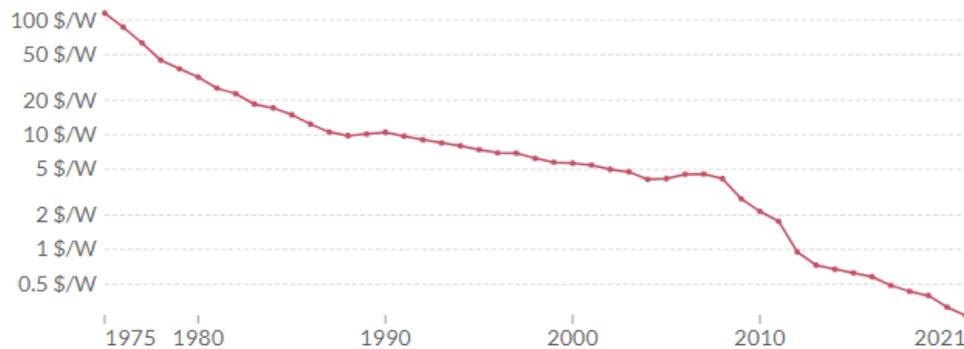
2.5 Retorno de Investimento

Ao se investir em algum empreendimento ou melhoria sempre é visado algum ganho econômico ou de valor, seja em curtos, médios ou longos prazos. Nessa perspectiva, a intenção majoritária dos consumidores cativos, em sua maior parte residenciais, de investir em energia fotovoltaica é a economia a médio e longo prazo com gastos de eletricidade. Para tanto, calcula-se o Retorno sobre o Investimento realizado, como forma de se ter uma perspectiva de quando o investimento será quitado e começará a ser lucrativo.

O Retorno de Investimento, segundo Santos (2012) é definido como um valor que dimensiona a relação entre o investimento realizado e o benefício almejado. Seria, portanto, uma maneira do usuário que realizou o investimento determinar a relação entre o valor aplicado em um investimento e os lucros ou retornos obtidos por ele. (PADUAM, 2015).

Devido a fatores como a queda dos insumos trazidos da China (silício) e as inovações tecnológicas, com aumento de eficiência dos painéis e melhorias no processo de produção, resultaram em um menor custo em U\$/watt, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Histórico do preço da energia fotovoltaica gerada.

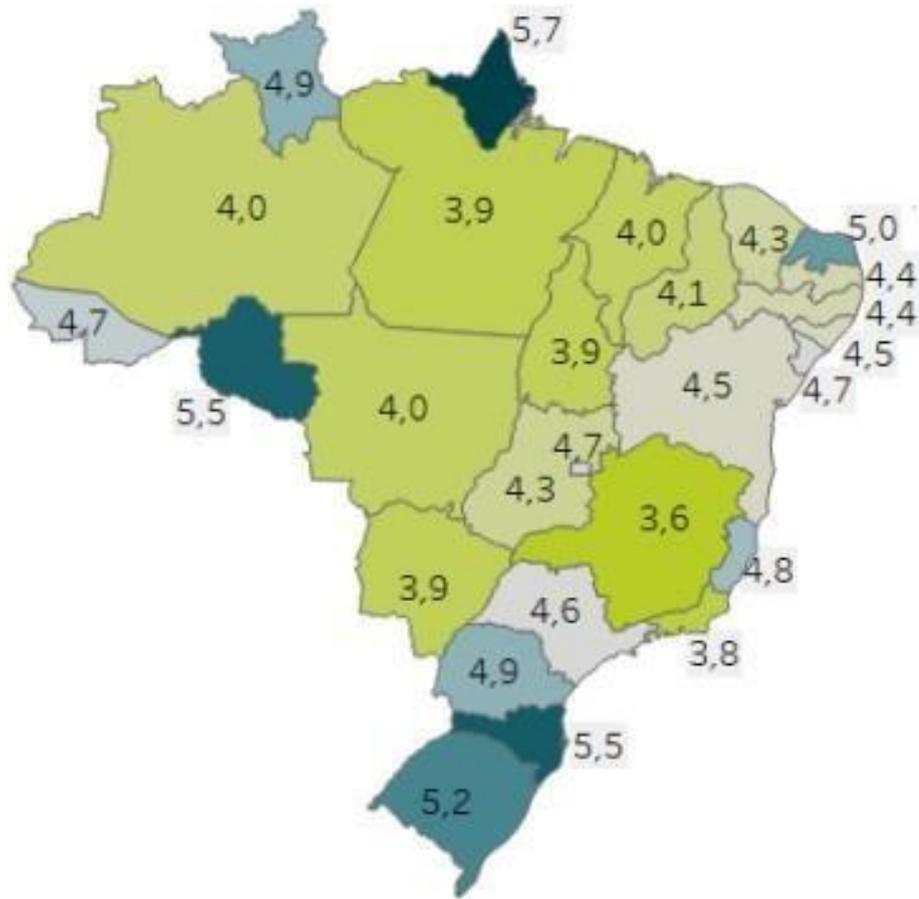


Fonte: Nemet(2009); Farmer & Lafond (2016); Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA).

Outro ponto importante são os leilões de energia, mecanismos utilizados para contratar a produção de energia elétrica. Esses leilões são organizados pelo governo federal, por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O principal objetivo dos leilões é garantir o suprimento de energia elétrica para atender a demanda do país e promover a diversificação da matriz energética, incentivando a participação de fontes renováveis. Além disso, também fomentam a competição no mercado e ajudam a reduzir os custos de energia elétrica para os consumidores.

Um estudo feito pela Greener (2020) mostra o tempo médio de payback por Estado em anos no setor residencial, como mostra a Figura 11. Pode-se observar que o estado de Minas Gerais possui o menor tempo de payback médio estimado dentre todos os estados brasileiros. O cálculo realizado leva em consideração alguns fatores, como a produtividade do local, o custo médio dos sistemas e a tarifa das concessionárias.

Figura 11 – Estimativa de payback médio por Estado (Residencial)



Fonte: Greener (2020).

Diante desses fatos e com o barateamento dos custos de instalação ao longo dos anos, torna-se atrativo para os consumidores de energia o investimento em energia fotovoltaica e explica-se, também, a crescente demanda no setor.

3 Metodologia

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados no trabalho. Para tanto, utilizou-se o modelo baseado em (VENAZI et al., 2016) de natureza aplicada e abordagem qualitativa.

Inicialmente, foi realizada uma análise documental e bibliográfica para revisar o estado da arte dos sistemas fotovoltaicos, as características técnicas dos painéis solares, bem como seu histórico de inserção e potencial no Brasil, aliando também temas como retorno de investimento e análise financeira voltado a aplicação de um sistema fotovoltaico. Após a fase inicial de análise bibliográfica, será conduzido um estudo de caso em uma residência selecionada. O objetivo principal é coletar dados reais de um sistema fotovoltaico instalado e analisar seu desempenho. O estudo de caso permitirá uma compreensão mais aprofundada do comportamento dos painéis fotovoltaicos e sua integração com a rede elétrica residencial.

A coleta de dados da residência estudada e o levantamento do sistema será feita de forma presencial com visitas à residência selecionada para coletar informações sobre o sistema fotovoltaico, incluindo a capacidade instalada, a orientação e inclinação dos painéis, os componentes do sistema, e a configuração da rede elétrica.

Os dados coletados serão analisados para avaliar o desempenho do sistema fotovoltaico em termos de eficiência de conversão e produção de energia. Além da análise técnica, também será realizada uma análise econômica do sistema fotovoltaico. Serão considerados os custos de instalação, bem como os benefícios econômicos, como a redução na conta de energia elétrica e possíveis incentivos fiscais ou tarifários, além dos benefícios ambientais causados pela fonte renovável em questão.

Será conduzido um levantamento real dos custos de instalação, o consumo de energia elétrica da residência e os dados de produção do sistema, além de uma projeção futura, levando em consideração o decaimento de eficiência das placas ao longo dos anos. O projeto será avaliado em curto, médio e longo prazo para mensurar os valores totais de produção, consumo em termos energéticos e financeiros, a fim de se calcular o retorno obtido pelo sistema nos três cenários analisados.

Os dados de consumo serão obtidos com a CEMIG, pelo histórico de faturas desde Junho de 2019 até Junho de 2023, e os dados de produção de energia pelo sistema serão obtidos através do aplicativo Solar.web da Fronius. Com o auxílio do software Excel, os dados serão inseridos em tabelas, para desta forma, possibilitar a análise financeira da instalação.

4 Estudo de caso

Neste capítulo, faz-se o estudo de caso do sistema fotovoltaico e da residência na qual está instalado, considerando aspectos técnicos, geográficos e financeiros.

4.1 A residência

A residência analisada está situada na cidade de Governador Valadares, na região do Vale do Rio Doce em Minas Gerais. A partir da base de dados da CRESESB, por meio do programa SunData, é possível consultar a irradiação solar diária média mensal na localidade específica do Município de Governador Valadares, de Latitude 18,901° S e Longitude 41,949° O, como consta na Figura 12, verificando-se, portanto, o alto índice de irradiação solar durante todo o ano.

Figura 12 – Irradiação solar em Governador Valadares.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária mensal [kWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	5,98	6,12	5,26	4,59	3,88	3,64	3,75	4,51	4,97	5,19	4,93	5,8	4,88
Ângulo igual a latitude	19° N	5,46	5,84	5,35	5,04	4,54	4,43	4,49	5,11	5,2	5,06	4,58	5,2	5,03
Maior média anual	17° N	5,53	5,89	5,36	5,01	4,49	4,36	4,43	5,06	5,19	5,09	4,63	5,3	5,03
Maior mínimo mensal	22° N	5,34	5,76	5,32	5,07	4,61	4,52	4,57	5,16	5,2	5	4,5	5,1	5,01

Fonte: CRESESB (Adaptado).

Devido ao elevado índice de irradiação solar durante a maior parte do ano e a elevada temperatura média da cidade, a propriedade, ao ser adquirida, já se encontrava com um aquecedor de água solar, como mostra a Figura 13. Dessa maneira, não foi necessária a instalação de chuveiros elétricos na residência, fator que contribui diretamente para a redução dos gastos de energia elétrica.

Figura 13 – Aquecedor solar.



Fonte: Elaboração própria (2023).

A residência em questão é utilizada por uma família de cinco pessoas, sendo quatro adultos e uma criança, e possui vasta gama de aparelhos elétricos como fogão elétrico, ar condicionados, televisoes, freezers, videogame, banheira de hidromassagem e computadores.

4.2 O projeto

O projeto fotovoltaico foi desenvolvido e instalado pela empresa Prates Engenharia Elétrica, uma empresa de serviços em engenharia, dedicada ao desenvolvimento de projetos e instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica. A empresa fornece em contrato garantia de 2 anos para o pleno funcionamento do sistema e geração média mensal de 1097 kWh nos primeiros 2 anos de funcionamento, desde que haja ao menos 2 lavagens nos módulos durante o período seco, de abril a setembro.

Na primeira etapa do projeto, fez-se o dimensionamento do sistema. Analisou-se fato-

res como área disponível para os módulos fotovoltaicos e sombreamento sobre a superfície onde deveriam ser instalados. A residência apresentou características favoráveis para o andamento do projeto, com grande área disponível nos telhados e sem sombreamento acentuado durante o dia.

Foram instalados vinte e seis painéis fotovoltaicos de 335W de potência cada, da marca BYD, que possui 144 células de silício policristalino e pode gerar até 1113 Wh/dia, como mostra as Figuras 14 e 15. Estes módulos possuem garantia do fabricante de 10 anos contra defeitos de fabricação e 25 anos de garantia linear de geração de energia com 80% da eficiência inicial. A eficiência energética dos painéis é de 16,95%, com corrente de máxima potência de 8,79 A e com tensão de máxima potência de 38,1 V. A taxa de decaimento de rendimento dos módulos é cerca de 0,8% a cada ano, o que representa que ao final de 5 anos, o sistema terá cerca de 96% de seu rendimento original.

Figura 14 – Módulos fotovoltaicos instalados.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 15 – Módulos fotovoltaicos instalados.



Fonte: Elaboração própria (2023).

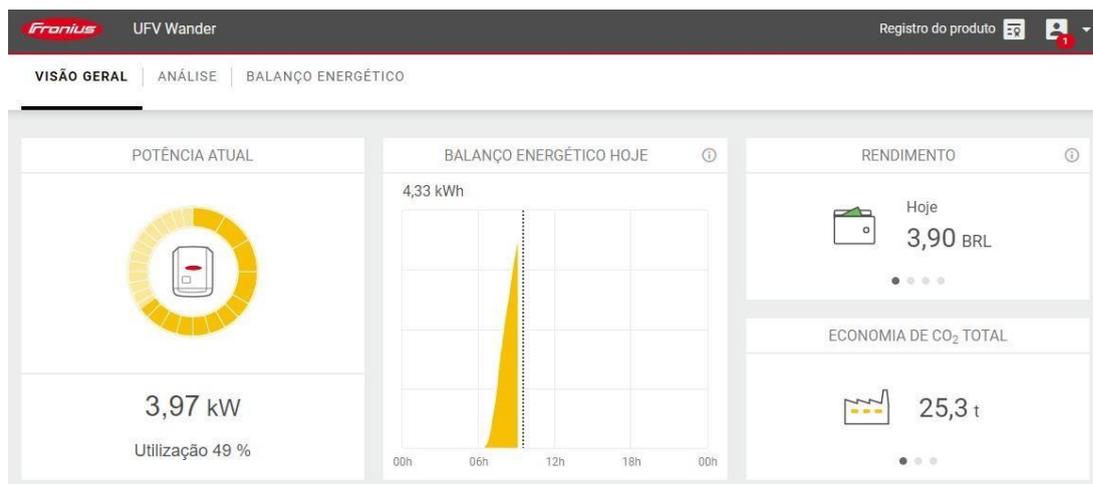
O Inversor utilizado foi o Inversor Fronius Primo com potência de 8,2 kW e possui 7 anos de garantia do fabricante. Este inversor é um inversor Grid Tie não possui transformador e funciona integrado à rede elétrica. Possui disjuntor DC integrado e comportamento de sobrecarga como medidas protetivas, além de possuir 2 otimizadores MPPT que permite extrair o máximo dos painéis, com sua eficiência máxima podendo alcançar 98,1%.

Tratando-se das características estruturais do sistema, após as medições feitas do local selecionado para a instalação, considerando área disponível e o peso suportado, e o número de painéis adquiridos, obteve-se a área líquida de 52 m² dos painéis e peso aproximado de 18Kg/m². A posição das placas foi selecionada de forma a permitir uma captação otimizada dos raios solares, definiu-se então a orientação azimutal de 0º Norte com inclinação de 20º.

A proposta comercial foi feita pela empresa responsável instalação no dia 04/04/2019 com 15 dias de validade. A proposta foi aceita pelo consumidor. Após a instalação, a empresa responsável solicitou a vistoria da usina solar fotovoltaica junto a CEMIG. A CEMIG, portanto, estabelece um prazo de 7 dias para realizar a vistoria, que foi realizada no final do mesmo mês e, em Maio de 2019, o sistema já estava em pleno funcionamento. Com o sistema em funcionamento, a partir de Maio de 2019, obteve-se o acesso ao Solar.web, uma plataforma online que possibilita monitorar, analisar e controlar o sistema fotovoltaico instalado, permitindo que os usuários acompanhem e maximizem o desempenho de suas instalações. O serviço é oferecido pela empresa Fronius International e

permite, não apenas a análise do desempenho, mas também, dados detalhados de eficiência, rendimento e economia de CO₂. A Figura 16 ilustra a página inicial do Solar.web para o sistema analisado em questão.

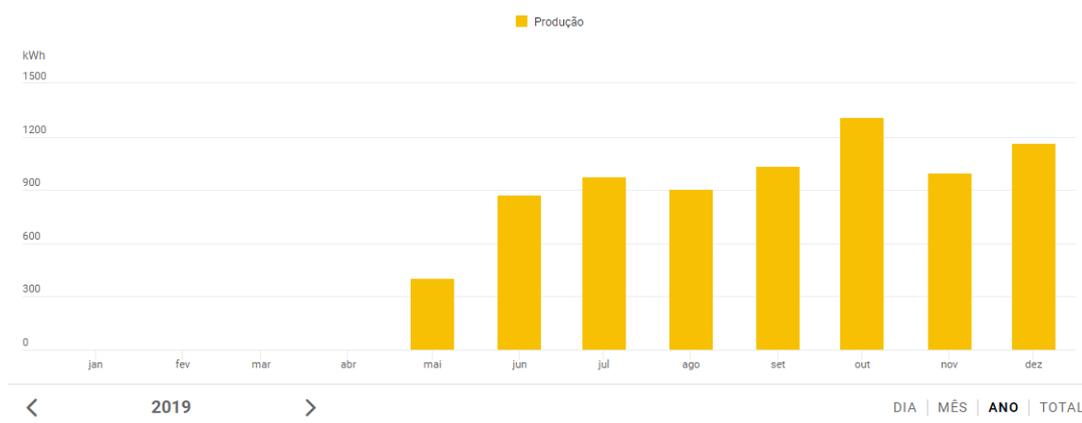
Figura 16 – Visão Geral do Sistema fotovoltaico.



Fonte: Solar.web (2023).

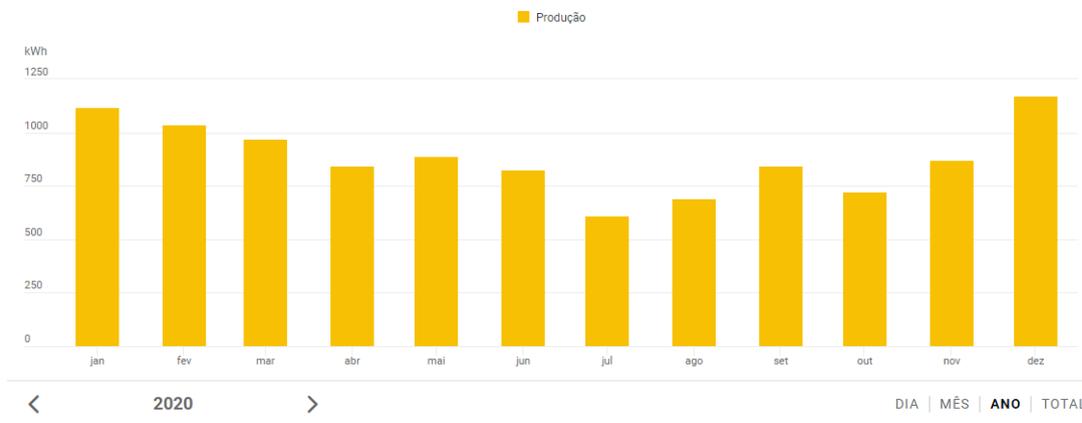
Na plataforma, é possível obter os dados de produção de energia pelo sistema gerada a partir do primeiro momento de seu funcionamento. As Figuras 17, 18, 19, 20, 21 exibem a produção de energia elétrica gerada a partir do ano de 2019 até o atual momento. Os dados foram coletados por mês de cada ano. É possível, também, analisar a produção diária do sistema.

Figura 17 – Produção energética no ano de 2019.



Fonte: Solar.web (2023).

Figura 18 – Produção energética no ano de 2020.



Fonte: Solar.web (2023).

Figura 19 – Produção energética no ano de 2021.



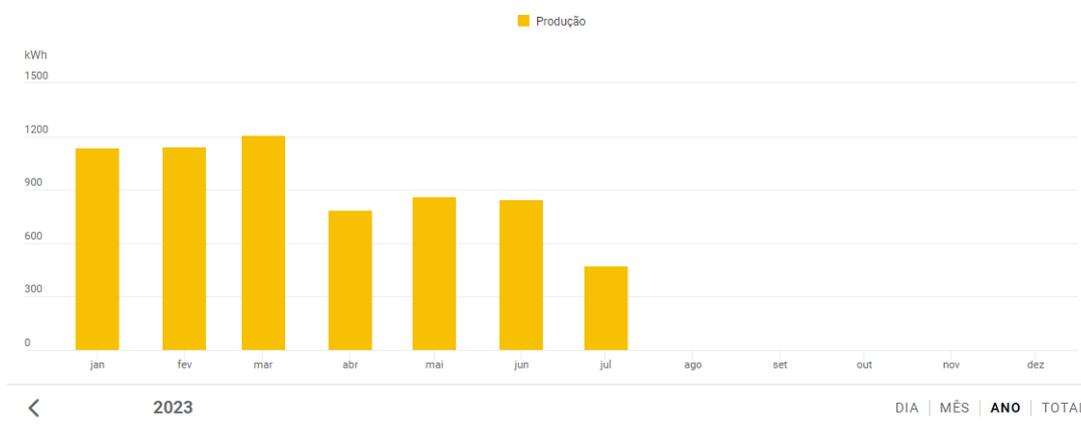
Fonte: Solar.web (2023).

Figura 20 – Produção energética no ano de 2022.



Fonte: Solar.web (2023).

Figura 21 – Produção energética no ano de 2023.



Fonte: Solar.web (2023).

4.3 Análise Financeira do Sistema

O custo do projeto foi avaliado em R\$40.810,00 incluindo todos os gastos de serviços, estrutura, materiais e impostos, como consta na Figura 12. Foram oferecidas linhas de financiamento especiais para geração de energia solar fotovoltaica com juros baixos, mas foi optado pela quitação do projeto a vista.

Figura 22 – Custos do Sistema.

Ítem	Descrição
1	Materiais - Inversores, Estruturas, Módulos Fotovoltaicos, Cabeamento, String Box e Conectores
2	Projeto Básico e Executivo
3	Instalação e Start-Up
4	Homologação e acompanhamento junto à CEMIG
5	Frete
6	Impostos - NF de Serviços e Taxas junto ao CREA-MG

Fonte: Elaboração Própria.

Após a análise do perfil elétrico da residência e do histórico de consumo desde a data de início do funcionamento do sistema, criaram-se cenários para determinar o retorno financeiro obtido através dos créditos de energia obtidos pela injeção de energia gerada pelo sistema. Foram definidos três cenários, o primeiro cenário estudado foi o de curto prazo, após 12 meses de funcionamento do sistema. O segundo cenário, de médio prazo, com uma análise de 36 meses após a instalação do sistema e uma projeção de longo prazo, após 60 meses da instalação.

Para o estudo dos três cenários, realizou-se o levantamento do histórico de leituras e faturamento da residência pela CEMIG, como mostra a Figura 23, que é referente à fatura do mês de Junho de 2019.

Figura 23 – Fatura Junho de 2019.

Referente a		Vencimento		Valor a pagar (R\$)					
JUN/2019		11/07/2019		118,42					
NOTA FISCAL Nº 025998166 - SÉRIE U PTA Nº: 45.000014006.81 Data de emissão: 10/06/2019									
Nº DO CLIENTE		Nº DA INSTALAÇÃO							
700		300							
Classe Residencial Trifásico		Subclasse Residencial		Modalidade Tarifária Convencional B1					
				Anterior 16/05					
				Datas de Leitura Atual 08/06					
				Nº de dias 23					
				Próxima 09/07					
Valores Faturados									
Itens da Fatura	Unid.	Quant.	Preço Unit.	Valor (R\$)	PIS/COFINS	Base Calc. ICMS	Aliq. ICMS	ICMS	Tarifa Unit.
Energia Elétrica	kWh	283	0,90800316	256,94					0,61500870
Dif. Custo Disponib. Res. 482	kWh	100	0,90800316	90,78					0,61500870
Energia compensada GD I	kWh	283	0,90800316	-256,94					0,61500870
Contrib Ilum Publica Municipal				27,64					
TOTAL				118,42					
Bandeira Amarela - Já Incluído no valor a pagar				0,95					

Fonte: CEMIG (2019).

Após a obtenção desses dados, fez-se um comparativo entre o consumo e a produção do sistema. Com o auxílio do software Excel, desenvolveu-se uma tabela comparativa para cada cenário. Todos os dados de produção foram retirados do aplicativo Solar.web e todos os dados de consumo foram obtidos com a CEMIG. Considerou-se, também, o custo de disponibilidade de 100 kWh (trifásico) a ser paga mensalmente pelo consumidor. Por outro lado, a taxa de contribuição de iluminação pública foi desconsiderada.

Nos cenários desenvolvidos levam-se em consideração o mês e ano analisados, a produção real do sistema, o consumo elétrico da residência, o preço unitário do kWh, o valor cobrado na tarifa (consumo x preço unitário), o excedente de energia em kWh (produção - consumo), o custo de disponibilidade (100 kWh) e o excedente em reais (excedente x preço unitário).

Destaca-se que foi realizada uma média geral sem considerar a distribuição da carga horária durante o dia, ou seja, os períodos de pico de consumo.

4.3.1 Primeiro Cenário

No primeiro cenário analisado, definiu-se o espaço temporal de 12 meses, a contar da fatura obtida no mês de Junho de 2019 até Maio de 2020, como representado na Figura 24.

Figura 24 – Primeiro cenário.

Mês/Ano	Produção (kWh)	Consumo(kWh)	Preço Unit.	Valor	Excedente (kWh)	Custo Disponib.	Excedente (R\$)
jun/19	873,18	283	0,908	R\$ 256,96	590,18	R\$ 90,80	R\$ 535,88
jul/19	977,88	366	0,97	R\$ 355,02	611,88	R\$ 97,00	R\$ 593,52
ago/19	906,19	296	0,999	R\$ 295,70	610,19	R\$ 99,90	R\$ 609,58
set/19	1036,98	416	1,013	R\$ 421,41	620,98	R\$ 101,30	R\$ 629,05
out/19	1313,19	407	0,993	R\$ 404,15	906,19	R\$ 99,30	R\$ 899,85
nov/19	997,09	561	0,968	R\$ 543,05	436,09	R\$ 96,80	R\$ 422,14
dez/19	1166,92	606	0,985	R\$ 596,91	560,92	R\$ 98,50	R\$ 552,51
jan/20	1118,17	567	0,955	R\$ 541,49	551,17	R\$ 95,51	R\$ 526,37
fev/20	1037,02	470	0,638	R\$ 299,86	567,02	R\$ 94,97	R\$ 361,76
mar/20	972,63	650	0,628	R\$ 408,20	322,63	R\$ 94,64	R\$ 202,61
abr/20	846,06	595	0,628	R\$ 373,66	251,06	R\$ 94,53	R\$ 157,67
mai/20	891,21	555	0,628	R\$ 348,54	336,21	R\$ 93,61	R\$ 211,14
Total				R\$ 4.844,95	6364,52	R\$ 1.156,86	R\$ 5.702,07

Fonte: Elaboração Própria.

O resultado obtido pelo comparativo, evidencia uma economia bruta de R\$4.844,95 no período analisado. Este valor, subtraído pelo custo de disponibilidade (R\$1.156,86), resulta em uma economia real de R\$3.688,09.

Ainda se observa uma produção de energia bem superior ao consumo na maior parte dos meses, o que por sua vez, acarreta em excedente de energia. O excedente de energia, se aproveitado integralmente em outra unidade consumidora do mesmo proprietário, acresceria R\$5.702,07 de economia no mesmo período, resultando em uma economia real de R\$9.390,16, sem considerar o custo de disponibilidade da outra unidade consumidora.

4.3.2 Segundo Cenário

O segundo cenário analisado, o espaço temporal foram de 24 meses, de Junho de 2020 a Maio de 2022. Decorrendo 36 meses ao total, desde o início de funcionamento do sistema. Os dados obtidos são mostrados na Figura 25.

Figura 25 – Segundo cenário.

Mês/Ano	Produção (kWh)	Consumo(kWh)	Preço Unit.	Valor	Excedente (kWh)	Custo Disponib.	Excedente (R\$)
jun/20	828,02	448	0,628	R\$ 281,34	380,02	R\$ 93,47	R\$ 238,65
jul/20	611,45	483	0,633	R\$ 305,74	128,45	R\$ 94,36	R\$ 81,31
ago/20	692,32	443	0,645	R\$ 285,74	249,32	R\$ 95,91	R\$ 160,81
set/20	843,89	504	0,625	R\$ 315,00	339,89	R\$ 93,86	R\$ 212,43
out/20	724,13	674	0,618	R\$ 416,53	50,13	R\$ 91,96	R\$ 30,98
nov/20	873,85	564	0,618	R\$ 348,55	309,85	R\$ 92,27	R\$ 191,49
dez/20	1171,85	578	0,637	R\$ 368,19	593,85	R\$ 95,08	R\$ 378,28
jan/21	1099,17	590	0,664	R\$ 391,76	509,17	R\$ 98,82	R\$ 338,09
fev/21	861	754	0,632	R\$ 476,53	107	R\$ 94,59	R\$ 67,62
mar/21	1149,93	638	0,632	R\$ 403,22	511,93	R\$ 94,24	R\$ 323,54
abr/21	873,31	737	0,632	R\$ 465,78	136,31	R\$ 93,94	R\$ 86,15
mai/21	823,53	466	0,642	R\$ 299,17	357,53	R\$ 96,34	R\$ 229,53
jun/21	741,63	463	0,666	R\$ 308,36	278,63	R\$ 99,10	R\$ 185,57
jul/21	892,41	416	0,69	R\$ 287,04	476,41	R\$ 102,93	R\$ 328,72
ago/21	975,28	423	0,713	R\$ 301,60	552,28	R\$ 106,38	R\$ 393,78
set/21	1021,12	469	0,728	R\$ 341,43	552,12	R\$ 108,82	R\$ 401,94
out/21	824,57	624	0,76	R\$ 474,24	200,57	R\$ 112,70	R\$ 152,43
nov/21	940,14	531	0,76	R\$ 403,56	409,14	R\$ 113,02	R\$ 310,95
dez/21	970,3	591	0,76	R\$ 449,16	379,3	R\$ 113,24	R\$ 288,27
jan/22	1202,23	315	0,76	R\$ 239,40	887,23	R\$ 112,14	R\$ 674,29
fev/22	1003,24	691	0,76	R\$ 525,16	312,24	R\$ 113,20	R\$ 237,30
mar/22	1229,71	514	0,76	R\$ 390,64	715,71	R\$ 112,28	R\$ 543,94
abr/22	1059,68	638	0,76	R\$ 484,88	421,68	R\$ 113,42	R\$ 320,48
mai/22	896,49	590	0,649	R\$ 382,91	306,49	R\$ 96,56	R\$ 198,91
Total				R\$ 8.945,93	9165,25	R\$ 2.438,63	R\$ 6.375,47

Fonte: Elaboração Própria.

Ao analisar os dados da Figura 25, é possível calcular uma economia bruta neste período de R\$ 8.945,93. O custo de disponibilidade de energia do período analisado resultou em R\$2.438,63 ao longo dos 24 meses. Descontando-se esses custos, calcula-se uma economia real de R\$6.507,30. Se aproveitado integralmente, em outra unidade consumidora do proprietário, o excedente de energia pode gerar uma economia total de R\$12.882,77 no período analisado.

4.3.3 Terceiro Cenário

O terceiro cenário analisado, compreende o espaço temporal de Junho de 2022 a Maio de 2024. Como o desenvolvimento do trabalho e análise realizada foi feita em Julho de 2023, os dados a partir desta data serão inseridos por meio de estimativas e projeções, feitas de acordo com os dados dos períodos anteriores. Portanto, o terceiro cenário foi dividido em duas partes, sendo a primeira de dados já coletados como mostra a Figura 26 e a segunda de acordo com a projeção realizada, representado pelo Figura 27. A primeira parte, compreende os meses de Junho de 2022 a Junho de 2023, enquanto a segunda parte compreende os meses de Julho de 2023 a Maio de 2024.

Figura 26 – Terceiro cenário (Parte 1).

Mês/Ano	Produção (kWh)	Consumo(kWh)	Preço Unit.	Valor	Excedente (kWh)	Custo Disponib.	Excedente (R\$)
jun/22	843,75	420	0,618	R\$ 259,56	423,75	R\$ 92,16	R\$ 261,88
jul/22	815,4	416	0,64	R\$ 266,24	399,4	R\$ 81,48	R\$ 255,62
ago/22	840,54	453	0,653	R\$ 295,81	387,54	R\$ 74,57	R\$ 253,06
set/22	845,49	563	0,653	R\$ 367,64	282,49	R\$ 74,63	R\$ 184,47
out/22	1067,45	630	0,653	R\$ 411,39	437,45	R\$ 74,36	R\$ 285,65
nov/22	1057,03	659	0,653	R\$ 430,33	398,03	R\$ 74,19	R\$ 259,91
dez/22	967,15	692	0,653	R\$ 451,88	275,15	R\$ 74,54	R\$ 179,67
jan/23	1136,99	672	0,653	R\$ 438,82	464,99	R\$ 74,84	R\$ 303,64
fev/23	1143,6	505	0,653	R\$ 329,77	638,6	R\$ 74,84	R\$ 417,01
mar/23	1207,93	832	0,653	R\$ 543,30	375,93	R\$ 83,38	R\$ 245,48
abr/23	786,89	942	0,653	R\$ 615,13	-155,11	R\$ 83,39	R\$ -
mai/23	862,94	645	0,653	R\$ 421,19	62,83	R\$ 83,81	R\$ 41,03
jun/23	849	539	0,568	R\$ 306,15	310	R\$ 90,16	R\$ 176,08
Total				R\$ 5.137,18	4301,05	R\$ 1.036,35	R\$ 2.863,50

Fonte: Elaboração Própria.

Pode-se observar que no mês de abril de 2023, o consumo foi maior que a produção, dessa forma, no mês subsequente foi decrescido ao excedente o mesmo que faltou para o mês de abril.

Na segunda parte, a projeção dos dados de produção de energia foi feita a partir da média de produção entre os meses de Julho de 2019 a Maio de 2020, época na qual o sistema apresentava seu melhor desempenho em termos de eficiência. Foi considerado, também, uma perda de 4% de eficiência dos painéis para a estimativa.

Em relação à projeção do consumo, fez-se uma média do período compreendido entre os meses de Julho de 2022 a Maio de 2023. Para tanto, levou-se em consideração o aumento do consumo médio de energia elétrica na residência, tendo em vista que a disponibilidade energética predispõe o aumento do consumo de energia elétrica. Portanto, para obter uma estimativa mais aproximada, considerou-se utilizar os dados mais recentes para tal.

Para estimar os valores do Preço cobrado por kWh (Preço Unitário) e o Custo de disponibilidade, assumiram-se as médias do período compreendido entre Julho de 2022 a Maio de 2023.

Figura 27 – Terceiro cenário (Parte 2).

Mês/Ano	Produção (kWh)	Consumo(kWh)	Preço Unit.	Valor	Excedente (kWh)	Custo Disponib.	Excedente (R\$)
jul/23	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
ago/23	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
set/23	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
out/23	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
nov/23	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
dez/23	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
jan/24	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
fev/24	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
mar/24	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
abr/24	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
mai/24	970,92	637,18	0,65	R\$ 414,17	333,74	R\$ 77,64	R\$ 216,93
Total				R\$ 4.555,84	3671,14	R\$ 854,04	R\$ 2.386,24

Fonte: Elaboração Própria.

Neste espaço temporal de 24 meses, com os dados coletados de Junho de 2022 a Junho de 2023 e a projeção realizada para os meses de Julho de 2023 a Maio de 2024, observa-se uma economia bruta de R\$9.693,02. Quando decrescida do custo de disponibilidade deste período (R\$1.890,39), observamos uma economia real de R\$7.802,63.

4.4 Análise de Resultados

Neste tópico, são abordados os resultados obtidos através da análise realizada do sistema. Para tanto, construiu-se uma tabela, inserindo os valores de retorno obtidos em cada cenário, sendo o terceiro cenário, dividido em duas partes, como se observa na Figura 28.

Figura 28 – Análise de Resultados.

Cenários	Economia Bruta		Economia Real		Economia máxima
Primeiro	R\$	4.844,95	R\$	3.688,09	R\$ 9.390,16
Segundo	R\$	8.945,93	R\$	6.507,30	R\$ 12.882,77
Terceiro 1	R\$	5.137,18	R\$	4.100,83	R\$ 6.964,33
Terceiro 2	R\$	4.555,84	R\$	3.701,80	R\$ 6.088,04
Total	R\$	23.483,90	R\$	17.998,02	R\$ 35.325,30

Fonte: Elaboração Própria.

A figura desenvolvida leva em consideração os cenários analisados, a economia bruta, sem considerar o custo de disponibilidade de 100 kWh, a economia real (economia bruta - custo de disponibilidade) e a economia máxima possível obtida pelo sistema, se utilizado toda energia produzida na mesma ou em outras unidades consumidoras.

Portanto, pode-se concluir que, após cinco anos (60 meses), o sistema gera uma economia real de aproximadamente R\$18.000 nas tarifas de energia da residência, o que representa cerca de 44,1% do valor investido no sistema. Por outro lado, caso o excedente de energia produzido seja aproveitado integralmente como créditos de energia, a economia neste período de tempo seria de, aproximadamente, R\$35.300, que representa cerca de 86,5% dos custos de compra e instalação do sistema.

Além da economia financeira, outro aspecto que pode-se evidenciar como resultado obtido pela instalação do sistema é a economia de CO₂, por se tratar de uma fonte de energia renovável. Pelo aplicativo Solar.web, é possível identificar a quantidade de CO₂ que o sistema economizou até o momento, cerca de 25,42 toneladas, como mostra a Figura 29, que se refere ao período de Maio de 2019 até Julho de 2023.

Figura 29 – Economia total de CO₂.

Fonte: Solar.web (2023).

Esta quantidade de CO₂ evitado é equivalente a, aproximadamente, 101.991 km percorridos por um automóvel, como o próprio aplicativo evidencia na Figura 30.

Figura 30 – Economia de CO₂ em km.

Fonte: Solar.web (2023).

5 Considerações Finais

No trabalho desenvolvido fez-se uma análise real de um sistema fotovoltaico residencial conectada à rede, considerando principalmente seus aspectos técnicos e financeiros. O trabalho teve como objetivo analisar o consumo de energia elétrica e calcular o retorno de investimento obtido pela instalação.

Para tanto, realizou-se um levantamento de dados obtidos através de fontes oficiais sobre o potencial solar brasileiro e de Minas Gerais, a fim de justificar a instalação do sistema devido aos altos índices de radiação solar no local selecionado. Levantaram-se, também, dados relacionados ao histórico de crescimento da energia fotovoltaica no país e no setor residencial, bem como as legislações que regem a geração fotovoltaica.

Para realizar com êxito a análise da residência selecionada, foi necessário obter os dados de produção do sistema, bem como os dados de consumo elétrico no período, a fim de fazer uma comparação entre produção, consumo e os valores monetários.

Os resultados obtidos conseguem justificar o investimento, uma vez que é possível amortizar cerca de 86% do investimento realizado em um período de cinco anos, considerando o excedente energético. Ainda assim, o tempo para retorno de investimento foi menor que o esperado, pois depende diretamente do preço unitário do kWh, que se mostrou abaixo do previsto após Fevereiro de 2020, logo meses depois após a concretização do projeto. Mesmo diante disso, pode-se afirmar que o investimento é atrativo para os consumidores de energia elétrica que planejam, a longo prazo, pagar menos por suas tarifas de energia. Além disso, por ser uma fonte renovável, a energia solar fotovoltaica é uma opção para a diminuição dos gases de efeito estufa e a diversificação da matriz elétrica do país. Na residência estudada, em exatos 50 meses de funcionamento do sistema fotovoltaico, observou-se uma economia de quase 25,5 toneladas de gás carbônico.

Referências

ABRACE. *Top 10 Países com os maiores custos: Custo de 200kwh ajustado pela renda per capita de cada país*. 2022. Disponível em: <<https://www.sindifisco.org.br/noticias/conta-de-luz-do-brasil-e-a-2a-mais-cara-do-mundo-veja-o-ranking>>. Acesso em: 15 out 2022.

ABRACEEL. *Impacto da Energia Elétrica no IPCA*. 2022. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/biblioteca/estudos/2022/02/estudo-abraceel-impacto-da-energia-eletrica-no-ipca/>>. Acesso em: 15 out 2022.

ABRADEE. *Tarifas de Energia*. 2014. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/>>. Acesso em: 15 out 2022.

ABSOLAR. *2022: O melhor ano da energia solar no Brasil*. 2022. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/2022-o-melhor-ano-da-energia-solar-no-brasil/#:~:text=Para%20a%20gera%C3%A7%C3%A3o%20pr%C3%B3pria%20de,at%C3%A9%20o%20final%20do%20ano.>> Acesso em: 15 out 2022.

ABSOLAR. *Panorama da Solar Fotovoltaica no Brasil e no mundo*. 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 24 mai 2023.

BALFOUR, J. *Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos*. 1. ed. São Paulo: Grupo GEN, 2016.

BLUESOL. *Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid): O Guia 100% Completo*. 2022. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>>. Acesso em: 10 jul 2023.

BLUESOL. *Panorama Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede ou Isolados? [Comparação]*. 2020. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-e-isolados/>>. Acesso em: 15 jul 2023

CEMIG. *Bandeira Tarifária*. 2021. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/bandeira-tarifaria/>>. Acesso em: 15 out 2022.

CRESESB. *Potencial Solar – SunData v 3.0*. 2017. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 15 jul 2023.

EPE. *Estudo de Refinamento do Mapeamento da Área Potencial*

de *Telhados de Edificações Residenciais no Brasil*. 2014. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/estudo-de-refinamento-do-mapeamento-da-area-potencial-de-telhados-de-edificacoes-residenciais-no-brasil>> Acesso em: 15 out 2022.

EPE. *Painel de Dados de Micro e Minigeração distribuída*. 2023. Disponível em: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/pdgd/>> Acesso em: 29 jun 2023.

Greener. *Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída 2º Semestre de 2020*. 2020. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2-semester-de-2020/>>. Acesso em: 11 jul 2023.

IEA. *Electricity Consumption by Sector*. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/brazil>>. Acesso em: 15 out 2022.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. *Estudo comparativo da confiabilidade de estimativas de irradiação solar para o sudeste brasileiro obtidas a partir de dados de satélite e por interpolação/extrapolação de dados de superfície*. Revista brasileira de Geofísica, p. 2, 2011.

MOREIRA, J. R. S. *Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética*. 12. ed. São Paulo: Grupo GEN, 2021.

PADUAM, T. C. *Método para Retorno sobre o Investimento após a implantação de software*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. *Estudo Atlas brasileiro de energia solar*. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <www.labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 12 jul 2023.

SANTOS, S. F. *O Risco na Análise de Investimentos*. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Ciências Econômicas Empresariais, 2012.

VENAZI, D. et al. *Introdução à engenharia de produção: conceitos e casos práticos*. Rio de Janeiro: LTC, 2016.