



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



GABRIEL DE LIMA SILVA

**ESTUDO DE CASO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM
UMA RESIDÊNCIA**

**OURO PRETO - MG
2021**

GABRIEL DE LIMA SILVA
gabriel.lima1@aluno.ufop.edu.br

**ESTUDO DE CASO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM
UMA RESIDÊNCIA**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Luís Antônio Bortolaia

OURO PRETO – MG
2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586e Silva, Gabriel de Lima.

Estudo de caso da viabilidade econômica da implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma residência. [manuscrito] / Gabriel de Lima Silva. - 2021.

46 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Bortolaia.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Módulos fotovoltaicos. 3. Estudos de viabilidade - Viabilidade econômica. 4. Energia solar - Microgeração. I. Bortolaia, Luís Antônio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gabriel de Lima Silva

Estudo de caso da viabilidade econômica da implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma residência

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

Aprovada em 09 de dezembro de 2021

Membros da banca

DsC. Luís Antônio Bortolaia - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Edson Alves Figueira Júnior (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Jorge Luiz Brescia Murta (Universidade Federal de Ouro Preto)

Luís Antônio Bortolaia, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/12/2021



Documento assinado eletronicamente por **Luís Antonio Bortolaia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2021, às 12:38, 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 **0258908** e o código CRC **617C95CE**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.013250/2021-30

SEI nº 0258908

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

AGRADECIMENTO

A Deus, pelo dom da vida e a saúde em abundância.

Aos meus pais Joaquim e Neuza, pelo apoio às minhas decisões, pelo incentivo e amor incondicional. Por todo o sacrifício e dedicação para que eu fosse capaz de chegar até aqui.

À minha irmã Maria, pelo companheirismo e apoio.

Ao meu irmão Ronaldo, por sempre estar ao meu lado.

À República Saideira, seus moradores e ex-alunos, pelo acolhimento, companheirismo, aprendizados e momentos para sempre eternizados em minha memória.

Ao meu orientador Bortolaia, pela dedicação e colaboração na elaboração deste trabalho.

A todo o corpo docente da UFOP, em especial da Escola de Minas, pelo ensino de qualidade.

“A única maneira de fazer algo excelente é amar o que você faz. Se você ainda não a encontrou, continue procurando. Não se acomode.”

Steve Jobs

RESUMO

O presente trabalho se trata de um estudo de caso sobre a viabilidade econômica da implantação de um sistema solar fotovoltaico para geração de energia em uma residência. O sistema em questão está localizado em um telhado residencial no município de Ipatinga, MG. Com o sistema já instalado e a partir de seu histórico de geração de energia, foram realizados cálculos de indicadores de viabilidade econômica com base no consumo médio de energia elétrica da residência. Foram considerados para os cálculos as diferentes tarifas de energia cobradas pela CEMIG de acordo com a bandeira tarifária vigente, além dos custos de instalação e de manutenção do sistema. Os indicadores calculados demonstraram uma boa viabilidade do projeto, possibilitando retorno de capital a curto prazo.

Palavras-chave: Energia solar. Módulos fotovoltaicos. Viabilidade econômica. Micro geração.

ABSTRACT

The presente project is a case study about the economic feasibility of a solar photovoltaic system made for energy generation in a residence. This system is localized in a residential roof in the city of Ipatinga, MG. With the system previously installed, using the energy generated it was possible to calculate the economic feasibility, taking the residence expenditure average as a parameter. The different energy tariffs charged by CEMIG were considered in accordance with the current tariff flag, in addition to the costs of installation and maintenance of the system. The calculated indicators demonstrated a good viability of the project, enabling short-term capital return.

Key-words: Solar energy. Photovoltaic modules. Economic feasibility.

LISTA DE SIMBOLOS

λ	cumprimento de onda (μm)
η	eficiência (adimensional)
P_{max}	potência de pico do sistema (W)
A_e	área efetiva dos painéis (m^2)
IN	investimento inicial (R\$)
L	lucro por uma unidade de tempo (R\$/ano)
N	número de períodos (anos)
F_t	retorno do capital em um período t (R\$)
TIR	taxa interna de retorno (%)
TMA	taxa mínima de atratividade (%)
VPL	valor presente líquido (R\$)
FC	fluxo de caixa (R\$)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz elétrica mundial.....	1
Figura 2 – Matriz elétrica brasileira.....	2
Figura 3 – Espectro eletromagnético.....	6
Figura 4 – Radiação direta, difusa e refletida.....	7
Figura 5 – Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica.....	8
Figura 6 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica.....	10
Figura 7 – Módulo em paralelo.....	10
Figura 8 – Módulo em série.....	11
Figura 9 – Inversor solar fotovoltaico GoodWe GW8500-MS.....	12
Figura 10 – Trajetória do Sol sobre uma casa no hemisfério sul.....	13
Figura 11 – Efeito da temperatura dos módulos.....	15
Figura 12 – Sistema integrada à rede elétrica.....	17
Figura 13 – Maior usina fotovoltaica da América Latina.....	18
Figura 14 – Demonstração do autoconsumo remoto.....	19
Figura 15 – Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.....	24
Figura 16 – Visão aérea do local de estudo.....	27
Figura 17 – Histórico de geração do sistema fotovoltaico.....	30
Figura 18 – Comparativo entre geração e consumo de energia.....	32
Figura 19 – Comparativo entre média anual de geração e consumo de energia.....	33
Figura 20 – Bandeiras tarifárias.....	35
Figura 21 – VPL para cada bandeira tarifária.....	40
Figura 22 – TIR para cada bandeira tarifária.....	40
Figura 23 – Payback para cada bandeira tarifária.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ângulo de inclinação ideal das células fotovoltaicas.....	13
Tabela 2 – Variáveis e Indicadores.....	25
Tabela 3 – Custos de instalação e manutenção do sistema fotovoltaico.....	28
Tabela 4 – Histórico da inflação no Brasil.....	29
Tabela 5 – Médias de geração anual e mensal.....	30
Tabela 6 – Médias de geração anual e mensal.....	30
Tabela 7 – Histórico de consumo da residência.....	32
Tabela 8 – Histórico de reajuste das tarifas da CEMIG.....	34
Tabela 9 – Custo do kWh ofertado pela CEMIG.....	35
Tabela 10 – Projeção das tarifas de energia futuras.....	36
Tabela 11 – Projeção do retorno anual de geração.....	36
Tabela 12 – Histórico de rendimento da poupança.....	37
Tabela 13 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária verde.....	37
Tabela 14 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária amarela.....	38
Tabela 15 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária vermelha I.....	38
Tabela 16 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária vermelha II.....	38
Tabela 17 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária de escassez hídrica.....	39
Tabela 18 – Indicadores de viabilidade econômica.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	O sol como fonte de energia	5
2.1.1	Radiação térmica	5
2.1.2	Irradiância e Irradiação	6
2.1.3	O potencial brasileiro.....	7
2.2	A conversão de energia utilizando placas fotovoltaicas	9
2.2.1	Efeito fotovoltaico	9
2.2.2	Módulos fotovoltaicos	10
2.2.3	Inversores	11
2.2.4	Orientação das células	12
2.2.5	Eficiência do painel	13
2.2.6	Tipos de conexão	16
2.2.7	Aspectos ambientais	17
2.2.8	Legislação vigente no Brasil	19
2.3	Análise da viabilidade econômica	20
2.3.1	Período de Payback	20
2.3.2	Taxa Interna de Retorno (TIR)	21
2.3.3	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	22
2.3.4	Valor Presente Líquido (VPL).....	22
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	Tipo de pesquisa	23
3.2	Materiais e métodos.....	24
3.3	Variáveis e indicadores.....	24
3.4	Instrumento de coleta de dados	25
3.5	Tabulação dos dados.....	25

3.6	Considerações finais	25
4	RESULTADOS	27
4.1	Descrição da instalação	27
4.2	Custos de instalação e manutenção do sistema	28
4.3	Histórico de geração do sistema fotovoltaico	29
4.4	Consumo de energia elétrica.....	31
4.5	Comparativo entre geração e consumo.....	32
4.6	Tarifas sobre o consumo de energia	33
4.7	Retorno da geração de energia.....	36
4.8	Análise de viabilidade econômica	37
4.9	Análise dos resultados	39
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	42
5.1	Conclusão	42
5.2	Recomendações	43
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Matriz energética pode ser definida como a somatória da utilização de fontes disponíveis para geração de qualquer tipo de energia, seja ela para nos locomover através de meios de transporte ou para gerar eletricidade. Já a matriz elétrica reúne somente as fontes disponíveis para a geração de energia elétrica. Ou seja, a matriz elétrica faz parte da matriz energética (SOMA ENERGIA, 2020).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a geração de energia elétrica mundial é constituída principalmente de combustíveis fósseis, tais como o carvão mineral e gás natural (Figura 1), que alimentam grande parte das termelétricas. Essas fontes de energia constituídas desses elementos não são renováveis, ou seja, significa que se esgotarão com o tempo. Além disso, a extração e a queima desses produtos geram impactos significativos ao meio ambiente, impactos esses que já experimentamos com o aquecimento global, por exemplo (EPE, 2020).

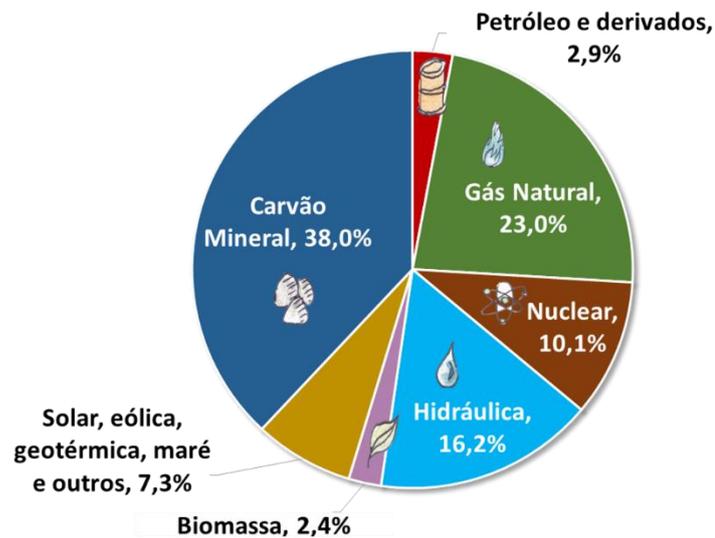


Figura 1 – Matriz elétrica mundial

Fonte: EPE (2020)

Vindo para o Brasil, o cenário muda bastante. Devido à enorme capacidade hídrica de nosso território, as usinas hidrelétricas dispararam à frente na geração de energia elétrica,

contribuindo significativamente para que tenhamos uma matriz seguramente mais renovável do que a matriz elétrica mundial. Destaca-se ainda a participação do gás natural e biomassa, além da energia eólica, conforme observa-se na Figura 2.

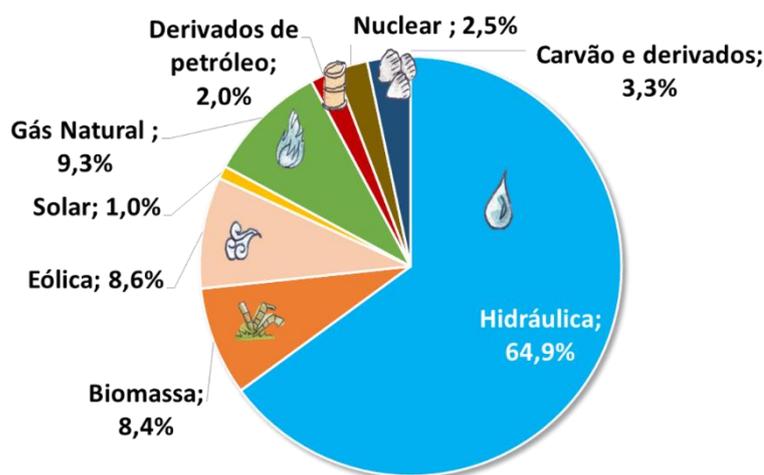


Figura 2 – Matriz elétrica brasileira

Fonte: EPE (2020)

Dentre as energias renováveis, uma que vem ganhando bastante destaque no cenário nacional é a energia solar fotovoltaica. Não somente por se tratar de uma energia renovável, mas também pela facilidade com que um cidadão comum pode instalar, em sua residência, um sistema gerador dessa energia, objetivando assim a redução dos custos com pagamento de tarifas relativas à utilização de energia elétrica.

Sendo assim, muitas residências familiares e pequenas empresas têm adotado essa ideia. No entanto, deve-se avaliar o custo de instalação e manutenção desses equipamentos, a fim de verificar se realmente vale a pena ter um desses instalado. Sendo assim, fica o seguinte questionamento:

Quão economicamente viável é a implantação de um sistema fotovoltaico em residências para geração de energia elétrica no Brasil?

1.2 Justificativa

Uma matriz energética limpa e renovável contribui para o meio ambiente de maneira significativa, e sem dúvida a energia fotovoltaica cumpre esse papel. Países tropicais, como o Brasil, possuem grandes vantagens ao se utilizar desse tipo de geração de energia, visto que recebem altos graus de radiação solar durante boa parte do ano, contribuindo para um alto potencial de geração (PORTAL SOLAR, 2016).

Boa parte das pessoas, no entanto, desconhece esse tipo de energia e suas características, bem como suas vantagens e desvantagens. Esse trabalho também visa a conscientização e prestação de informações que possam ser úteis à população.

Além disso, analisar os custos de implementação de um projeto de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos juntamente à sua capacidade de geração faz-se necessário para saber se é viável utilizar-se destes em uma residência.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Avaliar a viabilidade da microgeração de energia elétrica com painéis fotovoltaicos.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo bibliográfico sobre energia fotovoltaica e sobre viabilidade econômica;
- Avaliar o custo de implantação e manutenção do projeto;
- Analisar as condições de insolação locais;
- Realizar o estudo da viabilidade econômica.
- Definir a metodologia utilizada para realização do trabalho.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro dedicado à introdução ao assunto e à apresentação da justificativa de escrita desta monografia. Além disso são apresentados os objetivos, tanto gerais quanto específicos.

O segundo capítulo trata de uma revisão bibliográfica, com introdução e desenvolvimento de variados conceitos relacionados à geração de energia elétrica a partir de um sistema fotovoltaico.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de realização do trabalho, a partir dos meios utilizados para a solução do problema.

No quarto capítulo são analisados os resultados da metodologia utilizada, enquanto que no quinto capítulo conclui-se o trabalho com as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são abordados os conceitos iniciais, como alguns conceitos relacionados à radiação térmica e a incidência dela no território brasileiro. Também serão abordados conceitos relativos ao princípio de funcionamento das células fotovoltaicas, bem como às formas de instalação dessas células e a legislação no que tange à energia fotovoltaica. Por fim, são tratados alguns conceitos relativos à viabilidade econômica de um projeto.

2.1 O sol como fonte de energia

2.1.1 Radiação térmica

Segundo Incropera *et al.* (2008), diferentemente da transferência de calor por condução e convecção, que exigem a presença de um gradiente de temperatura entre alguma matéria, a radiação térmica não necessita de nenhum meio material para se propagar e conseqüentemente realizar uma troca térmica. Sendo assim, toda matéria emite radiação térmica, e esta pode ser definida como uma taxa de energia liberada pela matéria como resultado de sua temperatura não nula.

Ainda segundo Incropera *et al.* (2008), a natureza da radiação é explicada como a propagação de partículas conhecidas como fótons. Alternativamente, a radiação pode ser vista como uma propagação de ondas eletromagnéticas.

O espectro eletromagnético mostrado na Figura 3 aborda desde as radiações de pequeno comprimento de onda, como Raios X, UV (Ultra Violeta) e Gama, até as de grande comprimento de onda, como as micro-ondas. No entanto, somente uma porção intermediária desse espectro é chamada de radiação térmica, por afetar a temperatura da matéria. Essa zona compreende a radiação visível, o infravermelho e parte dos Raios UV, e é localizada entre comprimentos de onda $0,1 < \lambda < 100 \mu\text{m}$ (INCROPERA, 2008).

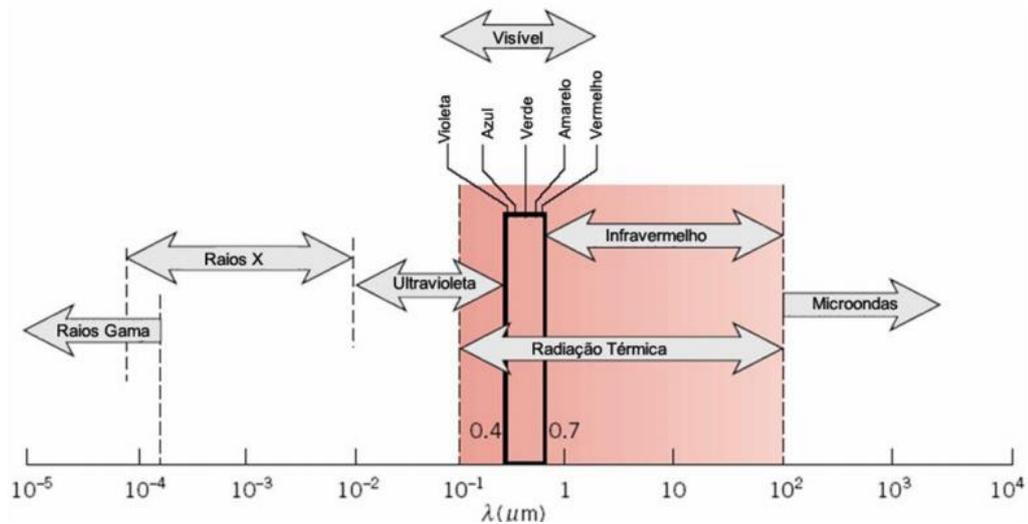


Figura 3 – Espectro eletromagnético
 Fonte: Incropera *et al.* (2008)

2.1.2 Irradiância e Irradiação

Irradiância e irradiação são dois importantes conceitos que precisam ser definidos. Embora a nomenclatura seja similar, são conceitos diferentes.

Segundo a BlueSol (2020), a irradiância mede a potência luminosa que atinge uma unidade de área. Geralmente são utilizados o Watt (W), para a potência, e o metro-quadrado (m^2) para a área. Portanto, a irradiância é medida em W/m^2 . Já a irradiação pode ser definida como a irradiância emitida durante um certo período, usualmente representado em horas (h). Portanto, a irradiação pode ser medida em Wh/m^2 ou kWh/m^2 .

Em se tratando da radiação solar, podemos dividir a irradiância em duas componentes – direta e difusa. A irradiância solar direta representa a parcela que não sofreu nenhum processo de absorção ou desvio, que comumente ocorre na atmosfera, enquanto a componente difusa trata da radiação proveniente do espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera, como proposto por Pereira *et al.* (2017).

Na figura 4, pode-se observar as componentes direta e difusa da radiação solar, além da porção da radiação que é refletida, comumente chamada de albedo.

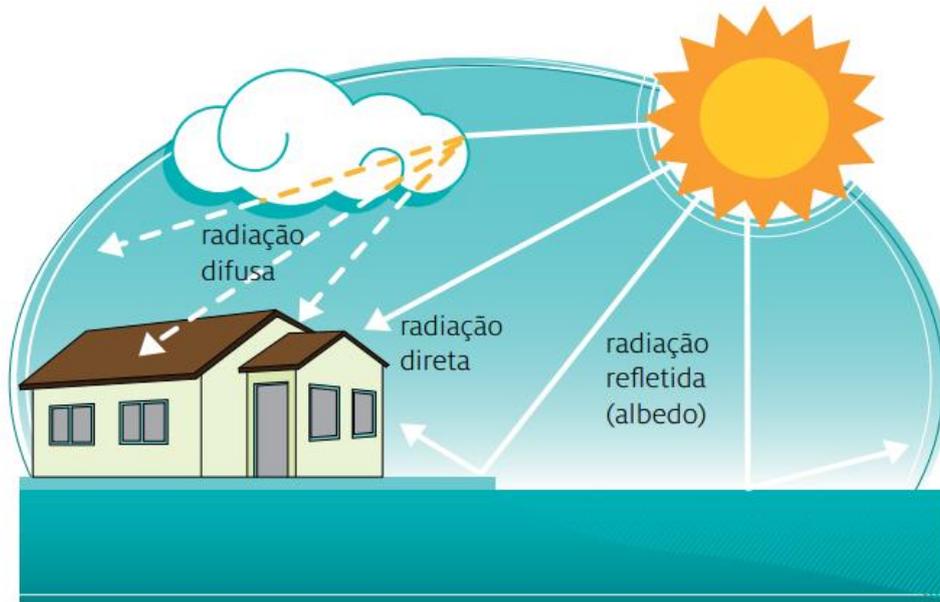


Figura 4 – Radiação direta, difusa e refletida
 Fonte: ASPE (2013)

Hodge *et al.* (2011) cita que em um dia claro, a radiação difusa contribui com no máximo 10% do total da radiação que chega à superfície, enquanto em um dia nublado ela representa 100% do total.

2.1.3 O potencial brasileiro

Pereira *et al.* (2017) cita o enorme potencial do Brasil na geração fotovoltaica de energia elétrica. Para fins comparativos, segundo o autor, no local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado de toda a Alemanha. O mapa da figura 5 demonstra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada).

Ainda segundo o autor, além da abundante energia proveniente do Sol, o Brasil possui uma enorme extensão de áreas degradadas, ou seja, que possuem baixíssimo valor econômico e que serviriam para implantação de projetos de geração fotovoltaica interligados à distribuição elétrica regional. Isso sem citar as vantagens da micro geração fotovoltaica distribuída para populações de baixa renda no semiárido nordestino, por exemplo.

Segundo Reis et al. (2011), o Brasil é dotado de um ótimo índice de radiação solar, principalmente o nordeste brasileiro. A região do semiárido possui os melhores índices, sendo classificado entre as regiões do mundo com maior potencial de geração de energia solar.

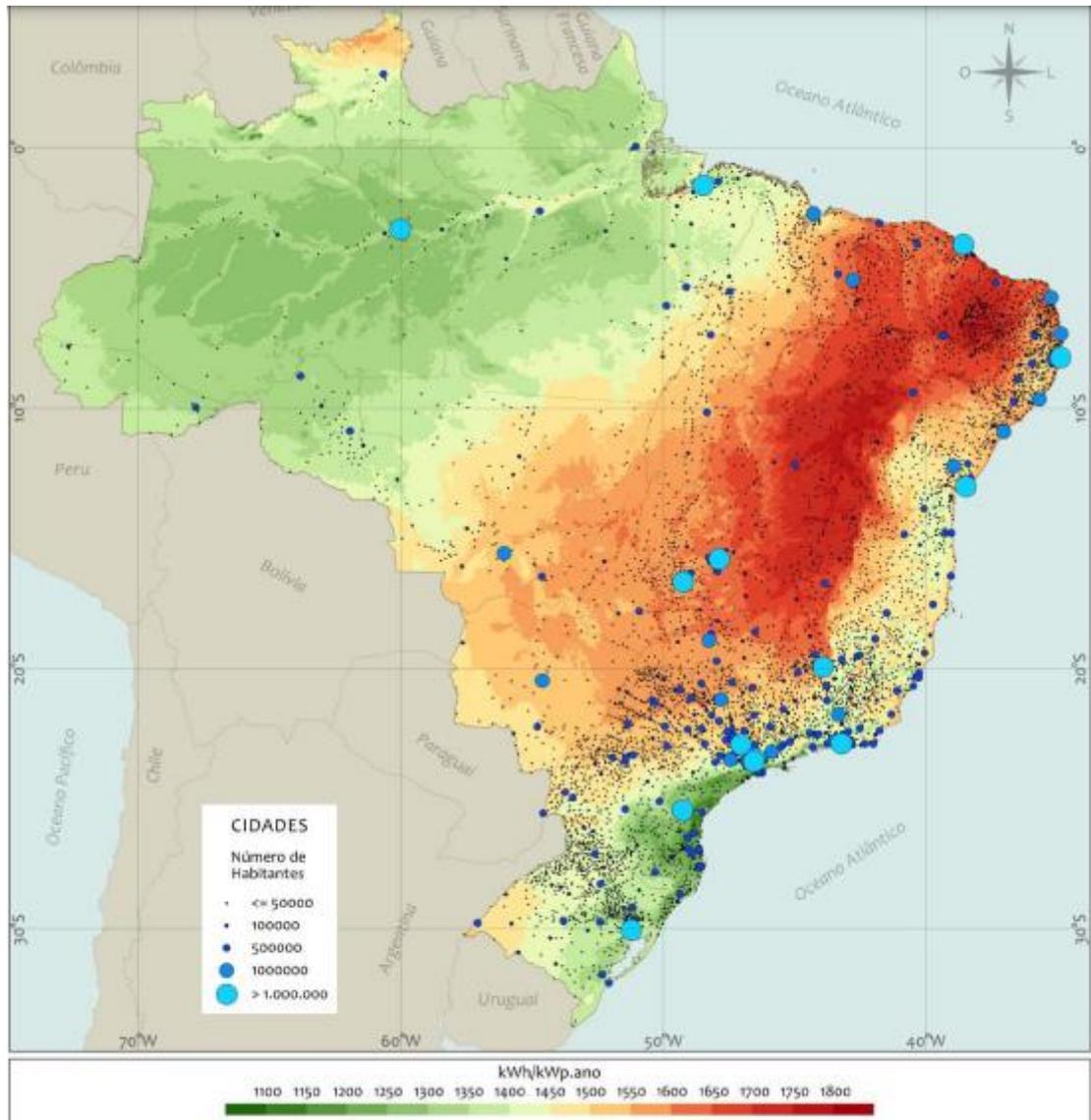


Figura 5 – Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica
Fonte: Atlas brasileiro de energia solar (2017)

2.2 A conversão de energia utilizando placas fotovoltaicas

2.2.1 Efeito fotovoltaico

De acordo com o CRESESB (2008), o efeito fotovoltaico é observado em materiais semicondutores, os quais apresentam bandas de energia que permitem a passagem de elétrons (bandas de Valência) e bandas “vazias” (bandas de condução). O semiconductor mais usado é o silício, o qual é caracterizado por possuir quatro elétrons de valência.

Ao se adicionar átomos com cinco elétrons de valência, como o fósforo, por exemplo, um elétron não será emparelhado e se desprenderá do átomo de origem. Sendo assim, com pouca energia, pode-se fazer com que esse elétron se desprenda e migre para a zona de condução. Graças a essas características, o fosforo é chamado de dopante doador de elétrons ou dopante *n*.

Já o boro, por exemplo, é chamado aceitador de elétrons ou dopante *p*, isso porque possuem três elétrons de ligação, e portanto, ao tentar realizar ligações com o silício, haverá uma lacuna a ser preenchida por outro elétron. Essa lacuna pode ser preenchida através da injeção de pequena quantidade de energia. Tendo dito isso, pode-se formar o que chamamos junção *pn*, que seria a introdução de fósforo de um lado e boro do outro em uma placa de silício, por exemplo, como podemos observar na Figura 6.

Segundo Reis *et al.* (2011), se esta junção é exposta a fótons que carregam energia maior que o *gap* existente entre as bandas de valência e condução, gera-se pares elétron-lacuna. Como o campo elétrico é diferente de zero na região, devido ao acúmulo de elétrons em um lado, as cargas são aceleradas e através de uma junção surge uma corrente. Esse deslocamento de cargas gera uma diferença de potencial, que pode ser denominada como efeito fotovoltaico.

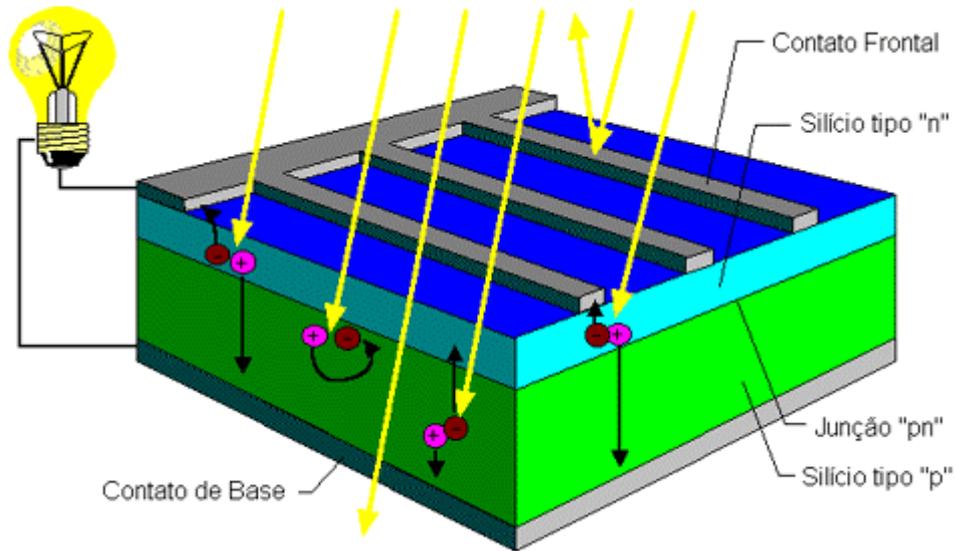


Figura 6 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica
Fonte: CRESESB (2008)

2.2.2 Módulos fotovoltaicos

Pode-se chamar de módulo fotovoltaico o agrupamento de várias células fotovoltaicas. Esse agrupamento pode ser feito conectando-as em série ou paralelo.

Segundo o CRESESB (2008), quando essa conexão é realizada em paralelo, somam-se as correntes de cada célula e a tensão do módulo será igual a tensão da célula. Como a tensão em cada célula varia em torno de 0,7V, este arranjo é muito pouco utilizado, a não ser em condições específicas que exigem uma tensão baixa. A figura 7 ilustra a conexão das células em paralelo.

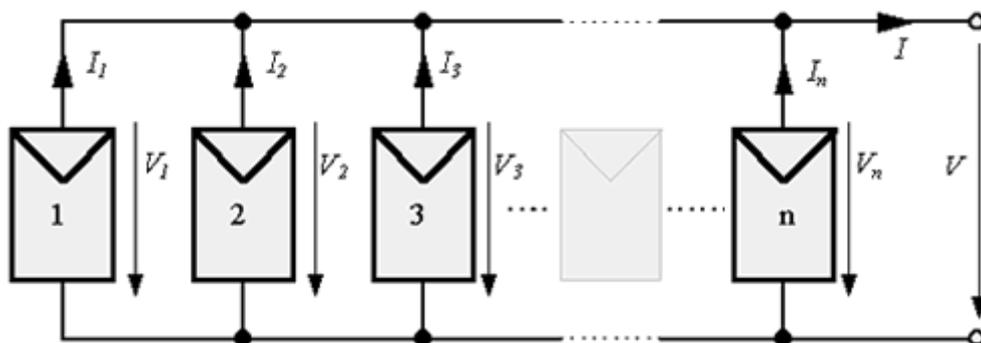


Figura 7 – Módulo em paralelo
Fonte: CRESESB (2008)

O arranjo em série, por sua vez, é o mais utilizado. Neste arranjo, agrupam-se várias células em série e a tensão do módulo é igual ao somatório das tensões em cada célula fotovoltaica. Se o uso de acumuladores (baterias) for visado, essa tensão final terá o valor aproximado de 12V. Esse tipo de arranjo pode ser observado na Figura 8.

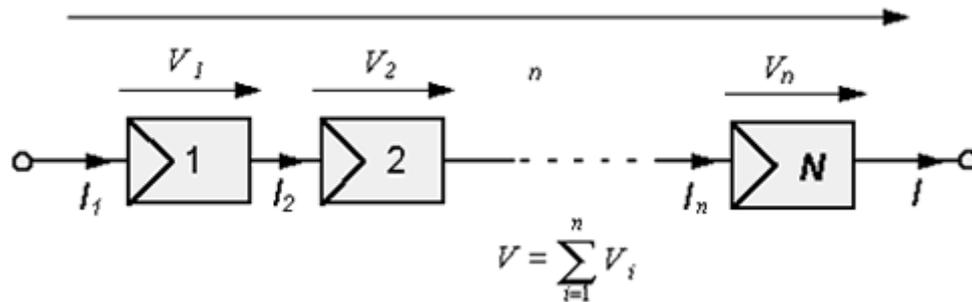


Figura 8 – Módulo em série
Fonte: CRESESB (2008)

2.2.3 Inversores

Inversores são equipamentos utilizados em um sistema fotovoltaico para realizar a conversão da corrente contínua produzida pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, que é a utilizada pelos aparelhos eletroeletrônicos e pela rede elétrica pública (PORTAL SOLAR, 2020).

Segundo Cooper e Moralles et al. (2013), há uma diferença básica entre inversores utilizados em sistemas autônomos de geração de energia e sistemas conectados à rede elétrica pública. Em sistemas autônomos, os inversores funcionam como uma fonte de tensão para os aparelhos residenciais ou industriais, sendo para estes a única fonte geradora.

Já nos sistemas conectados à rede elétrica, o inversor funciona como uma fonte de corrente elétrica. Como a rede já tem uma tensão e frequência reguladas, esse aparelho deve garantir que a corrente injetada seja uma senoidal pura e tenha a tensão sincronizada com a rede pública de distribuição. Além disso, esse tipo de inversor possui um sistema de desligamento automático em caso de queda da distribuição de energia elétrica na rede. Esse recurso serve como proteção a possíveis operadores que estejam realizando manutenção na rede elétrica. Na figura 9 é exemplificado um modelo de inversor da marca GoodWe.



Figura 9 – Inversor solar fotovoltaico GoodWe GW8500-MS
Fonte: SolarInove (2020)

2.2.4 Orientação das células

A irradiação que incide nas células fotovoltaicas depende diretamente de sua posição em relação ao Sol. Sendo assim, muitas usinas fotovoltaicas de grande porte se utilizam desse fato para projetar sistemas avançados, que rastreiam o movimento do Sol e alteram a inclinação dos módulos durante esse movimento, para absorver o máximo possível de radiação solar.

No caso de uma instalação residencial, muito provavelmente os módulos sejam fixos, devido a maior facilidade de instalação e a diminuição no custo. Dito isso, deve-se procurar um melhor direcionamento dos módulos para melhor aproveitamento da irradiação.

Segundo Reis et al. (2018), enquanto no hemisfério norte, o Sol se localiza mais abaixo no horizonte à medida que aumentamos a longitude, no hemisfério sul ocorre o oposto. Sendo assim, nos países do hemisfério norte, comumente se instalam painéis voltados ao sul, enquanto no hemisfério sul os painéis são voltados ao norte. A figura 10 mostra a trajetória do Sol sobre uma casa situada no hemisfério sul.

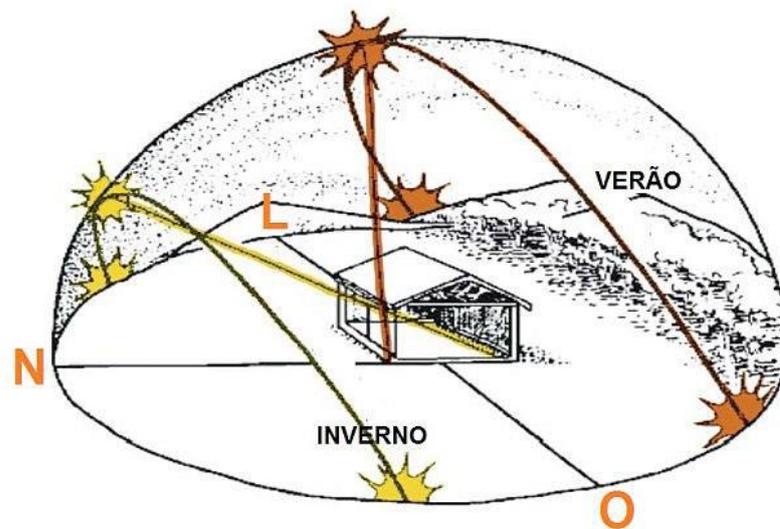


Figura 10 – Trajetória do Sol sobre um casa no hemisfério sul
 Fonte: PortalSolar (2020)

Além disso, devemos considerar o ângulo da inclinação dos painéis. Segundo o manual da Bosch, “*Installation and Safety Manual for the c-Si M60(S) NA 30117 and NA 42117 Families of Crystalline Photovoltaic Modules*”, o ângulo de inclinação dos painéis deve obedecer aos critérios descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Ângulo de inclinação ideal das células fotovoltaicas

Latitude Local	Ângulo de Inclinação Horizontal
0-10	= 10 graus
11-20	= Latitude
21-30	= Latitude + 5 graus
31-40	= Latitude + 10 graus
41+	= Latitude + 15 graus

Fonte: Adaptado de Bosch (2020).

2.2.5 Eficiência do painel

Quando se trata sobre eficiência de um painel fotovoltaico, deve-se atentar à porcentagem de energia solar irradiada sobre o painel que é efetivamente convertida em energia elétrica, por metro quadrado. Por exemplo, um painel com eficiência de 15% irá converter 15%

da energia incidida sobre ele em energia elétrica. A maior parte dos painéis fotovoltaicos possui eficiência entre 15% e 20%, com desvios consideráveis, mas a maior parte dos painéis não ultrapassa a eficiência de 20% (ALDO, 2020).

A eficiência do painel irá depender consideravelmente do material do qual são feitas as células. Vários materiais podem ser utilizados para se produzir as células, no entanto, atualmente o silício é o mais utilizado, graças ao conhecimento tecnológico que se tem dele e à matéria-prima que lhe dá origem. O arseneto de gálio e o sulfeto de cádmio, entre outros, também têm sido utilizados na produção e pesquisa sobre as células fotovoltaicas (REIS, 2018).

Não é possível deixar de retratar aqui também sobre o Coeficiente de Temperatura. Entretanto, antes de mais nada, deve-se falar sobre o STC (Standard Testing Conditions).

De acordo com o Portal Solar (2020), STC significa “condições normais de ensaio” e são as condições nas quais um painel solar é testado pelas indústrias fabricantes. Essas condições seguem um padrão, para que assim possa se avaliar as características de cada painel e compará-las com outros painéis. Uma dessas condições diz respeito à temperatura do painel, a qual deve ser de 25°C. Acontece que essa temperatura é, na imensa maioria das vezes, inferior à temperatura de trabalho dos painéis fotovoltaicos instalados no Brasil. Na prática, a temperatura de um painel fica em torno de 20°C mais alta do que a temperatura ambiente do dia, afinal, ele recebe radiação solar durante todo o dia. Supondo então, que a temperatura ambiente esteja nos 30°C, o painel estará a aproximadamente 50°C.

Tendo dito isso, deve-se considerar que o silício é um material semicondutor, que perde a sua eficiência de acordo com sua temperatura. Aqui, é importante o conceito do Coeficiente de Temperatura, que deve ser sempre informado pelo fabricante. O Coeficiente de Temperatura descreve a porcentagem de energia que o painel deixa de gerar a cada 1°C de temperatura acima da STC (25°C), ou seja, o quanto de potência máxima ele perde. Esta potência máxima é utilizada diretamente no cálculo da eficiência de um painel fotovoltaico, e por isso exerce bastante influência no valor desta.

Por exemplo, seja um painel trabalhando à 50°C, com um Potência Máxima de 500W e Coeficiente de Temperatura -0,5%/°C. Logo, a cada 1°C acima de 25°C, o painel perde 0,5% de Potência Máxima. Sendo assim, na temperatura de 50°C, estaria operando com uma perda de 12,5% da Potência Máxima, a qual teria o valor de 437,5W.

Na figura 11 tem-se um gráfico representando o efeito dessa variação de temperatura em uma célula voltaica da SILVANTIS, o F265 MODULE.

IV CURVES AT MULTIPLE TEMPERATURES [1000 W/m²]

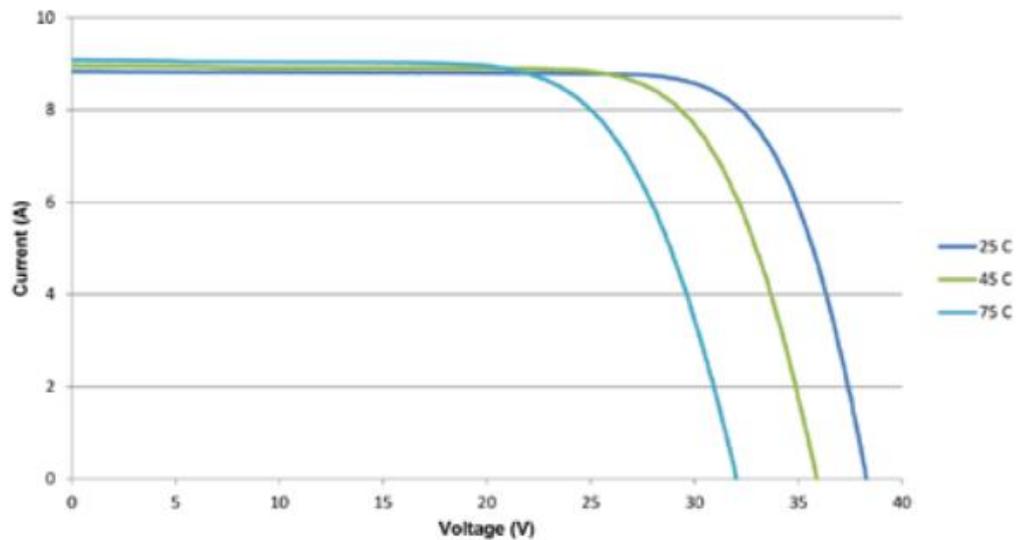


Figura 11 – Efeito da temperatura dos módulos
Fonte: SunEdison (2015)

Na figura pode-se perceber a importância da redução da temperatura. Enquanto a corrente praticamente não se altera, a tensão é reduzida com o aumento da temperatura, resultando em uma diminuição da eficiência. Conforme o título do gráfico, os dados foram colhidos considerando-se uma irradiância de 1000W/m².

A eficiência total do painel, como já foi dito, é dada pela porcentagem de energia solar irradiada sobre o painel que é efetivamente convertida em energia elétrica, por metro quadrado. Sendo assim o seu cálculo pode ser realizado de acordo com a Equação 1:

$$\eta = \frac{P_{max}}{10A_e} \quad (1)$$

Onde:

- η = eficiência do sistema;

- P_{max} = potência de pico do sistema;
- A_e = área efetiva dos painéis.

2.2.6 Tipos de conexão

Conforme proposto por Reis *et al.* (2018), os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em: sistemas autônomos isolados, sistemas autônomos híbridos e sistemas conectados à rede elétrica.

- Sistemas autônomos isolados – consiste no sistema fotovoltaico não conectado à rede elétrica de distribuição. Possuem diversos tipos de configuração, podendo alimentar diretamente equipamentos eletroeletrônicos ou mesmo alimentar uma bateria que irá armazenar a energia elétrica para ser utilizada posteriormente;
- Sistemas autônomos híbridos – da mesma forma que os isolados, esse tipo de conexão não está ligada à rede elétrica pública, no entanto, a sua geração de energia elétrica não se restringe ao sistema fotovoltaico, podendo incluir turbinas, geradores a diesel, etc. São mais complexos e necessitam de ajustes finos para operação;
- Sistemas conectados à rede – basicamente são aqueles em que a geração fotovoltaica é complementar ao utilizado pela rede elétrica pública. Geralmente não utilizam armazenamento de energia, então a energia gerada é entregue à rede instantaneamente. Em residências, as potências costumam ser de alguns kWp.

Este trabalho trata de um sistema conectado à rede, portanto daremos enfoque a esse tipo de sistema. Também são conhecidos como sistemas *OnGrid* e são os mais utilizados atualmente (Figura 12).

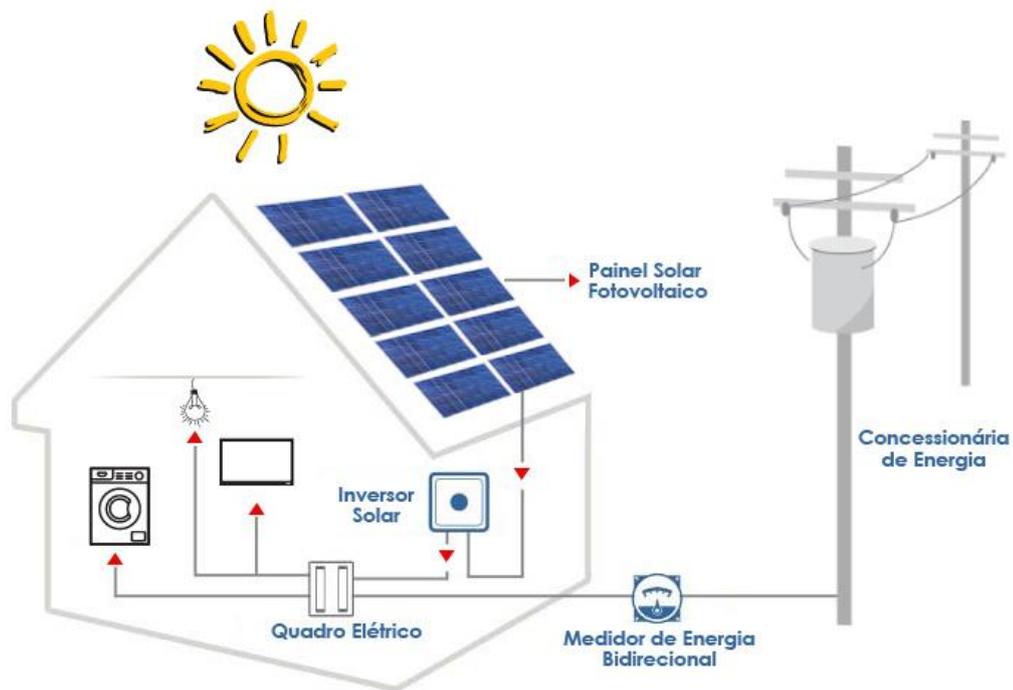


Figura 12 – Sistema integrada à rede elétrica
 Fonte: SoLigado (2020)

Como visto na Figura 12, depois que a energia é encaminhada para o inversor, onde é convertida em corrente alternada, ela é enviada ao quadro elétrico da casa, onde é direcionado aos aparelhos elétricos. Se a geração for maior do que o consumo, o proprietário fica com um “saldo credor” para ser descontado depois. Se a geração não foi suficiente para cobrir os gastos da casa, a rede elétrica é acionada e complementa a geração.

O fato de não haver necessidade do armazenamento de energia diminui muito os custos de instalação, o que torna esse tipo de instalação muito atrativa.

2.2.7 Aspectos ambientais

De acordo com Reis *et al.* (2018), não há motivos para se preocupar com grandes danos provocados ao meio ambiente pelo uso de sistemas fotovoltaicos em larga escala. Na verdade, o impacto causado estaria mais relacionado com a produção das células do que com a geração propriamente dita. O autor cita que alguns métodos de fabricação utilizam elementos perigosos, como o seleneto de hidrogênio e outros solventes. Por isso, é importante se atentar ao descarte e reciclagem desses materiais.

Ainda sobre a fabricação, a energia desprendida para a produção de uma placa é muito grande. Segundo a BlueSol (2020), enquanto a fabricação de uma bateria de um sistema fotovoltaico corresponde a 7% do custo energético total do sistema, as placas correspondem a aproximadamente 85% do total de energia desprendida. Todo esse gasto pode ser explicado pela alta complexidade na fabricação das placas e as várias etapas envolvidas em sua produção. Ainda assim, estima-se que em 2,5 anos, a energia gerada pela placa já supere a energia desprendida em sua fabricação, ou seja, se uma placa operar por 25 anos, ela irá gerar 10 vezes mais energia do que foi gasto em sua fabricação.

Em relação à instalação, a BlueSol (2020) destaca que os impactos só são sentidos quando temos a instalação de uma usina de grande porte, que ocupa vários hectares para realizar a geração. Isso porque quando instaladas em residências, as placas se localizam geralmente no telhado, que é uma área normalmente inutilizada, não ocupado ou inutilizando espaços de terra. A figura 13 mostra a maior usina fotovoltaica da América Latina, localizada na cidade de São Gonçalo do Gurguéia – PI.

Os impactos que podem ocorrer em grandes usinas dizem respeito à alteração da fauna e da flora, à intensificação de processos erosivos e de assoreamento, à migração da fauna local. Entretanto, os impactos podem ser considerados mínimos quando comparamos com os impactos associados a geração de energia por outras fontes, principalmente as que utilizam recursos minerais e vegetais.



Figura 13 – Maior usina fotovoltaica da América Latina
Fonte: BlueSol (2020)

2.2.8 Legislação vigente no Brasil

Nos últimos anos o Brasil vem adaptando a legislação de forma a regulamentar e incentivar a geração de energia fotovoltaica, principalmente no que tange à produção em indústrias e residências. A legislação brasileira sobre a energia solar é basicamente regulada por leis federais e resoluções da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Em 2012, a ANEEL criou a Resolução Normativa 482, a qual instituiu que o cidadão pode gerar a sua própria energia. Segundo a RN 482, as empresas de geração de energia elétrica são obrigadas a fornecer meios para que o cidadão produza sua própria energia, incorporando-a à rede elétrica e com isso gerando bonificações com uma possível produção excedente. Ou seja, ao gerar mais energia do que a utilizada em sua residência, o produtor fica com um “crédito energético”, pois envia à rede de distribuição o excesso de produção. Esse crédito pode ser utilizado posteriormente, quando, por exemplo, não houver geração suficiente para cobrir os gastos (ANEEL, 2012).

Em 2015, a ANEEL criou a RN 687, que alterou alguns pontos da RN 482. Segundo essa Resolução Normativa, os chamados créditos energéticos passam a valer por cinco anos, e não por somente três, como era anteriormente. Além disso, os créditos podem ser utilizados em outras residências, desde que utilizem a mesma distribuidora de energia e sejam do mesmo titular gerador, a isso foi dado o nome de Autoconsumo Remoto, demonstrado na Figura 14 (ANEEL, 2015).

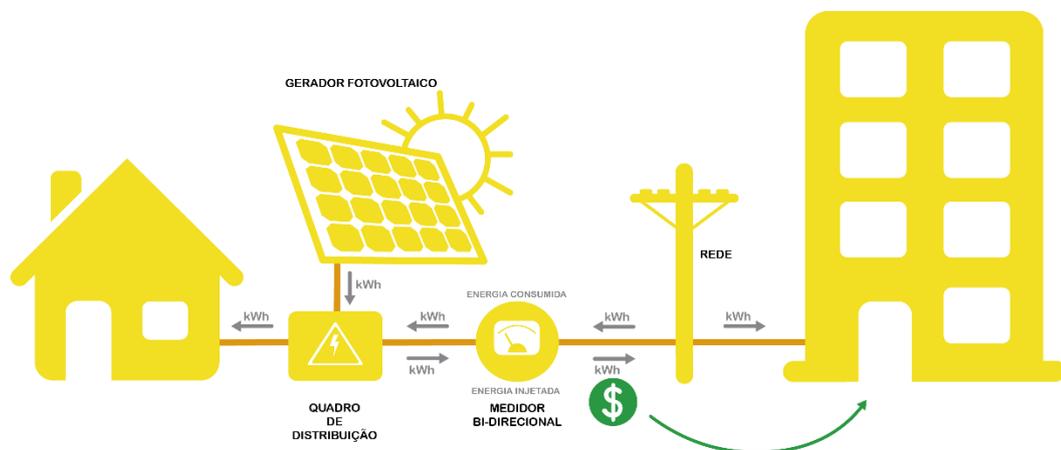


Figura 14 – Demonstração do autoconsumo remoto
Fonte: CoronaSolar (2021)

A fim de incentivar o uso de energias de fontes renováveis no Brasil, em especial a fotovoltaica, em 2018 foi criada a Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica. A PRONASOLAR instituiu metas nacionais de produção, visando a expansão da geração desse tipo de energia. Além disso, estabeleceu linhas de crédito para residências, indústrias e produtores rurais que querem instalar painéis fotovoltaicos, facilitando o investimento nesse tipo de equipamento (PRONASOLAR, 2018).

2.3 Análise da viabilidade econômica

Ao investir em um projeto, sabe-se que há vários riscos envolvidos, e não se sabe com certeza absoluta se o investimento resultará em bons frutos. Sendo assim, realizar uma análise de viabilidade econômica é essencial para colocar na balança os prós e contras de um investimento e avaliar se vale a pena ou não o investimento (SUNO, 2018).

Existem diversas formas de realizar uma análise de viabilidade econômica. Nesse trabalho, utilizaremos alguns indicadores, tais como: Período de *Payback*; Taxa Interna de Retorno (TIR); Valor Presente Líquido (VPL); Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

2.3.1 Período de Payback

Corresponde ao período necessário para que se tenha o retorno de todo o dinheiro investido inicialmente no projeto. A classificação de um período de tempo como bom ou ruim depende dos parâmetros adotados pela empresa ou pelo investidor. Por exemplo, não faz sentido realizar um projeto com um período de *Payback* de três anos se a vida útil do ativo for de somente dois anos. Além disso, o *Payback* deve ser analisado de acordo com a necessidade atual de capital do investidor. Se há urgência de capital, significa que se necessita de um *Payback* mais curto (FREZATTI, 2011).

As vantagens do *Payback* incluem o fato de ser um indicador bem simples e fácil de ser compreendido. Além disso, fornece uma ideia boa da geração de fluxo de caixa. Sua aplicação é ideal para projetos que têm uma vida limitada. Já como desvantagens, podemos citar o fato de que o *Payback* não considerará os fluxos recebidos em períodos distintos. Além disso, depois do período de recuperação do capital investido inicialmente, o fluxo de caixa não é considerado (SUNO, 2019).

O período de *Payback* pode ser calculado pela Equação 2:

$$payback = \frac{IN}{L} \quad (2)$$

Onde:

- IN: é o valor do investimento inicial;
- L: lucro por alguma unidade de tempo, geralmente em anos.

2.3.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Frezatti *et al.* (2011), a TIR corresponde à taxa de desconto igualando o investimento inicial ao valor das entradas de caixa subsequentes. A TIR está muito associada à Taxa Mínima de Atratividade. Segundo a Treasy (2017), podemos associar essas duas variáveis da seguinte forma:

- Uma TIR que exceda a Taxa Mínima de Atratividade indica que o projeto é viável.
- Uma TIR que se iguale à Taxa Mínima de Atratividade indica que outros fatores devem ser levados em consideração para a realização ou não do projeto.
- Uma TIR que fique abaixo da Taxa Mínima de Atratividade demonstra inviabilidade do projeto.

A TIR pode ser calculada segundo a Equação 3:

$$0 = Capital + \sum_{t=1}^N \frac{Ft}{(1+i)^t} \quad (3)$$

Onde:

- Capital = valor do investimento inicial;
- N = número de períodos;
- Ft = retorno de capital em um período t;
- i = Taxa Interna de Retorno (TIR).

2.3.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Segundo a SUNO (2018), podemos definir a TMA como uma rentabilidade mínima para que o investimento em um projeto seja atrativo. Para isso o investimento deve ser comparado com outras oportunidades disponíveis no mercado.

Sendo assim, a análise da TMA deve ser feita com base em outros investimentos tais como: a taxa SELIC, a Taxa Básica Financeira e a Taxa de Juros de Longo Prazo.

2.3.4 Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo a Treasy (2017), o VPL consiste em um método que traz para a data inicial de investimento todos os fluxos de caixa, somando-os ao dinheiro despendido no investimento inicial, usando como taxa de desconto a TMA do projeto. Assim, obtêm-se verdadeiramente o valor futuro do projeto. Ou seja, o VPL traz ao presente o valor futuro, representando a diferença entre os recebimentos e pagamentos de um investimento em valores monetários atuais.

O VPL pode ser calculado segundo a Equação 4:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_t}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Onde:

- VPL = Valor Presente Líquido;
- FC = Fluxo de Caixa;
- t = momento em que o fluxo de caixa ocorreu;
- i = Taxa Mínima de Atratividade ou taxa de desconto;
- n = período.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é definido o tipo de pesquisa, bem como os materiais e métodos utilizados no trabalho. São também apresentados as variáveis e os indicadores, bem como a forma de coleta de dados e a tabulação destes. Por fim, são feitas algumas considerações finais.

3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa é classificada de acordo com a sua forma de abordagem, os seus objetivos e os procedimentos técnicos utilizados.

De acordo com Andrade e Maria (2017) existem os mais diversos tipos de abordagem em pesquisas, tais como a pesquisa quantitativa e qualitativa. A pesquisa quantitativa é baseada no chamado modelo positivista, onde prevalece o uso da estatística e matemática, bem como se tem a pretensão de ser sempre racional ao acessar os materiais que serão analisados. Já a pesquisa qualitativa trata de um nível de realidade não mensurável, ou seja, ela trabalha com os significados, com a motivação e com valores, que não podem ser transcritos em números. Ainda segundo os autores, atualmente, tem-se a ideia de que as duas abordagens são complementares, visto que as técnicas estatísticas utilizadas em uma pesquisa quantitativa necessariamente passam pela subjetividade dos autores.

Segundo Carlos (2017), em se tratando dos objetivos da pesquisa, pode-se classificá-la como uma pesquisa exploratória quando se busca tornar um problema mais explícito ou construir hipóteses sobre este. Tornar explícita a geração por energia solar fotovoltaica é um dos objetivos deste trabalho, bem como levantar hipóteses sobre uma possível viabilidade econômica.

Por último, o autor detalha ainda o funcionamento de uma pesquisa na modalidade estudo de caso. Segundo o autor, essa modalidade tem como propósito proporcionar uma visão global do problema a partir de um exemplo ou de um grupo, além de identificar fatores que são influenciados ou que influenciam neste problema.

Compreendida a natureza das pesquisas, pode-se definir este trabalho como quantitativo-qualitativo, exploratório e enquadrado como um estudo de caso.

3.2 Materiais e métodos

A metodologia utilizada nesse trabalho pode ser observada no fluxograma da Figura 15.

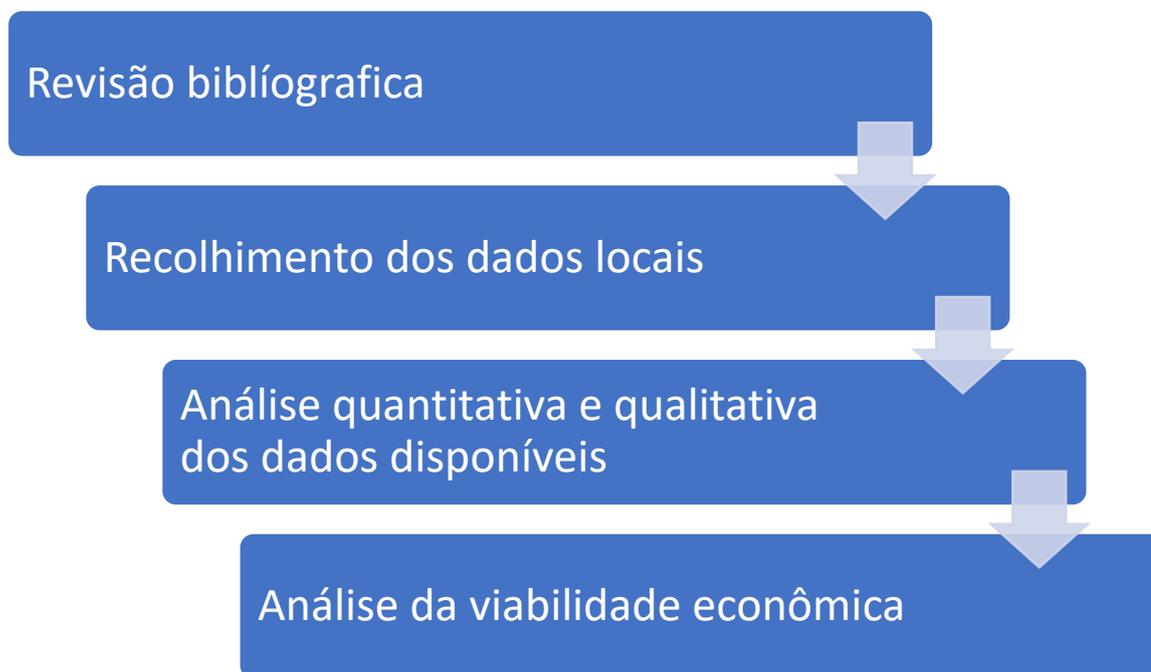


Figura 15 – Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Após a Revisão bibliográfica, são recolhidos os dados do local de estudo: uma residência localizada no município de Ipatinga – MG, na qual possuem instalados 18 painéis solares fotovoltaicos.

Com os dados em mãos, serão geradas tabelas comparativas para se fazer uma síntese dos dados disponíveis e, por final, será realizado o estudo da viabilidade econômica do projeto.

3.3 Variáveis e indicadores

Carlos (2017) cita que a variável pode ser definida como tudo aquilo que pode assumir diferentes valores numéricos ou ainda, que pode ser classificada em duas categorias ou mais. Já os indicadores permitem identificar aspectos ou mensurar quantidade relativas a um conceito ou fenômeno.

A tabela 2 indica as variáveis e os indicadores que serão utilizados para elaboração deste trabalho.

Tabela 2 – Variáveis e Indicadores

VARIÁVEIS	INDICADORES
PAINÉIS SOLARES	Irradiância
	Irradiação
	Orientação dos painéis
	Eficiência dos painéis
	Demanda energética
	Tipo de conexão
ENGENHARIA ECONÔMICA	Payback
	Taxa Interna de Retorno (TIR)
	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)
	Valor Presente Líquido (VPL)

Fonte: Pesquisa direta (2021)

3.4 Instrumento de coleta de dados

Neste trabalho, grande parte do material será coletado de livros disponíveis fisicamente ou de forma remota, a fim de montar a revisão bibliográfica.

Posteriormente, os dados do local de estudo serão coletados através de observações, medições e uso de um aplicativo de monitoramento das placas solares, denominado Solis Home.

3.5 Tabulação dos dados

Os dados coletados a partir dos diversos materiais apresentados anteriormente serão tabulados no *software* Microsoft Excel, a fim de promover maior organização e promover meios de comparação entre dados históricos.

3.6 Considerações finais

Neste capítulo foram apresentadas as metodologias utilizadas na formulação do trabalho, bem como os instrumentos escolhidos a fim de proporcionar a realização dos objetivos iniciais.

No próximo capítulo são tratados os resultados desta pesquisa, bem como o estudo da viabilidade econômica do projeto.

4 RESULTADOS

4.1 Descrição da instalação

A instalação utilizada como estudo de caso neste trabalho está localizada no telhado de uma residência, no município de Ipatinga – MG. O telhado residencial é livre de sombreamento devido à altura maior que das edificações ao redor e da inclinação dos painéis, que acompanha a inclinação do telhado.

Ao total, tem-se 18 painéis instalados no telhado. Como cada painel possui dimensões de 2m x 1m, ocupam, então, 36m² do telhado. A figura 16 mostra a vista via satélite do local de estudo, localizado nas coordenadas: Latitude: -19.453613, Longitude: -42.546216.



Figura 16 – Visão aérea do local de estudo.
Fonte: Google Earth (2021).

Os módulos possuem instalação em série e são conectados a um inversor. Possuem uma capacidade instalada total de 5,76kWp e estão orientados para o Polo Norte, em um ângulo de inclinação de 2,8°. O sistema instalado é conectado à rede, ou seja, trata-se de um sistema OnGrid.

4.2 Custos de instalação e manutenção do sistema

Para realizar-se uma análise de viabilidade econômica, deve-se levar em consideração todos os custos passados de instalação e manutenção do sistema, bem como os custos futuros. A Tabela 3 demonstra estes custos durante um período de 15 anos.

Tabela 3 – Custos de instalação e manutenção do sistema fotovoltaico

ANO	CUSTO DO PERÍODO	CUSTO ACUMULADO
2019	R\$ 22.500,00	R\$ 22.500,00
2020	R\$ 200,00	R\$ 22.700,00
2021	R\$ 208,72	R\$ 22.908,72
2022	R\$ 217,82	R\$ 23.126,54
2023	R\$ 227,32	R\$ 23.353,86
2024	R\$ 237,23	R\$ 23.591,09
2025	R\$ 247,57	R\$ 23.838,66
2026	R\$ 258,37	R\$ 24.097,02
2027	R\$ 269,63	R\$ 24.366,65
2028	R\$ 281,39	R\$ 24.648,04
2029	R\$ 293,65	R\$ 24.941,69
2030	R\$ 306,46	R\$ 25.248,15
2031	R\$ 319,82	R\$ 25.567,97
2032	R\$ 333,76	R\$ 25.901,73
2033	R\$ 348,32	R\$ 26.250,05

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Ao todo, para compra e instalação de todo o sistema, incluído a mão-de-obra, foram gastos R\$ 22.500,00.

O custo com manutenções se deve basicamente à limpeza das placas fotovoltaicas, que deve ser realizada periodicamente a fim de se obter um maior rendimento do sistema. Para diminuição dos custos, o proprietário do sistema fotovoltaico opta por realizar a limpeza por conta própria na maioria das vezes, realizando o pagamento da limpeza somente uma vez ao ano. Portanto, neste trabalho será assumido que esta limpeza é realizada anualmente, possuindo um custo de R\$ 200,00.

Para se realizar uma aproximação melhor do custo das limpezas, o valor do serviço foi reajustado anualmente de acordo com a média da inflação dos últimos 5 anos, que pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 – Histórico da inflação no Brasil

inflação anual (Dez. a Dez.)	inflação
<u>IPC Brasil 2020</u>	4,52 %
<u>IPC Brasil 2019</u>	4,31 %
<u>IPC Brasil 2018</u>	3,75 %
<u>IPC Brasil 2017</u>	2,95 %
<u>IPC Brasil 2016</u>	6,29 %

Fonte: Inflation.eu (2021)

Pelos valores da tabela, é obtido um média de inflação anual de 4,36%.

Ao final de 2020, o inversor teve de ser substituído. No entanto, como o equipamento ainda estava em sua garantia, não houveram custos adicionais com sua substituição.

4.3 Histórico de geração do sistema fotovoltaico

Para fins de realização do estudo, foram compilados os dados da geração de energia do sistema em kWh durante o período de 1 ano, compreendendo o período de Setembro de 2020 a Agosto de 2021. Os dados compilados podem ser vistos no gráfico da Figura 17.

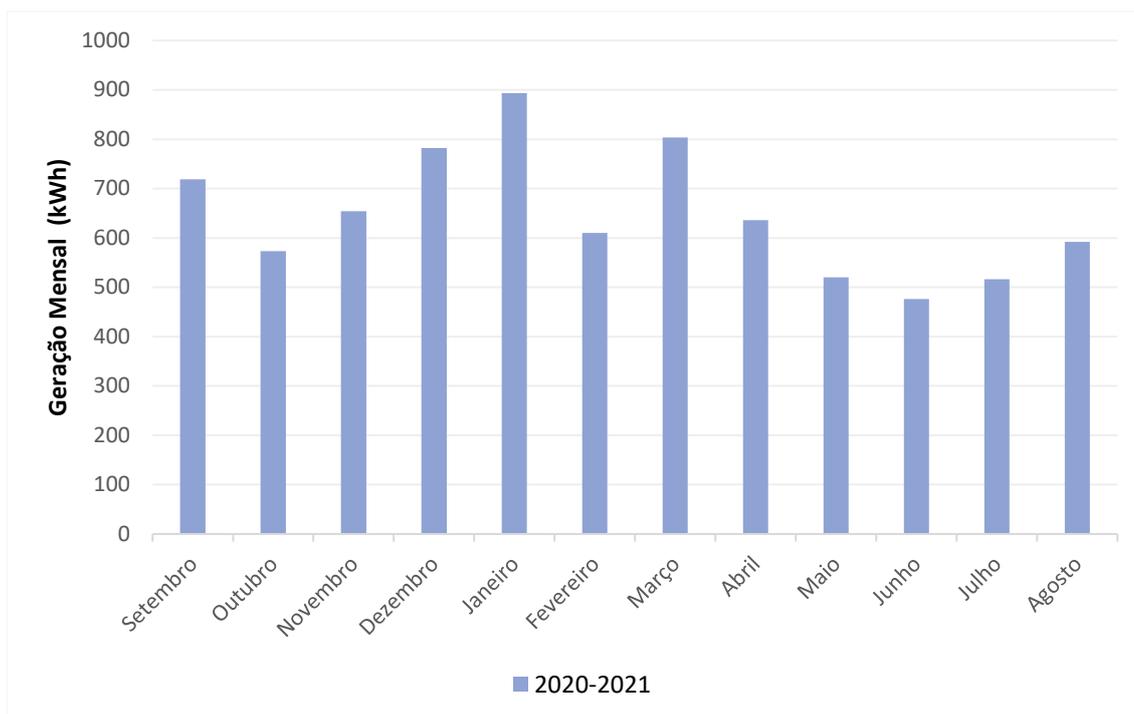


Figura 17 – Histórico de geração do sistema fotovoltaico
Fonte: Pesquisa direta (2021)

A partir dos dados obtidos pode-se calcular a média mensal e a geração anual de energia, que serão utilizadas para os cálculos de viabilidade econômica. Os valores estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Médias de geração anual e mensal

Período	Geração Total (kWh)	Média Mensal (kWh)
SET2020 - AGO2021	7775,69	647,97

Fonte: Pesquisa direta (2021)

A geração total anual do período analisado será utilizada com uma média de geração para os próximos anos, assim pode-se realizar a projeção da geração nos anos seguintes. Esta projeção está demonstrada na Tabela 6.

Tabela 6 – Médias de geração anual e mensal

Geração do Período (KWh)	Geração Acumulada (MWh)	Período (Anos)
7775,69	7,78	1
7721,26	15,50	2
7666,83	23,16	3
7612,40	30,78	4
7557,97	38,33	5
7503,54	45,84	6
7449,11	53,29	7
7394,68	60,68	8
7340,25	68,02	9
7285,82	75,31	10
7231,39	82,54	11
7176,96	89,72	12
7122,53	96,84	13
7068,10	103,91	14
7013,67	110,92	15

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Pode-se observar que a geração anual sofre uma variação constante com o passar dos anos. Isso se deve ao fato de que para a realização desta projeção, foi considerada uma queda de rendimento do sistema, impactando numa perda de geração de energia ao ano devido ao desgaste dos equipamentos. Segundo a BlueSol (2021), essa perda de eficiência gira, em média, em torno dos 0,7% ao ano, valor que foi usado para a projeção da tabela.

4.4 Consumo de energia elétrica

Para realizar uma análise do consumo médio de energia elétrica, foram buscados no site da CEMIG os consumos da residência em kWh durante 12 meses, de setembro de 2020 a agosto de 2021. Este consumo é dividido em duas contas separadas, sendo o consumo total a soma delas. A Tabela 7 demonstra os consumos mensais, bem como o consumo total anual.

Tabela 7 – Histórico de consumo da residência.

Mês	Consumo 1 (kWh)	Consumo 2 (kWh)	Consumo Total (kWh)
set/20	222	540	762
out/20	310	475	785
nov/20	262	448	710
dez/20	468	540	1008
jan/21	244	485	729
fev/21	325	508	833
mar/21	339	469	808
abr/21	297	536	833
mai/21	205	512	717
jun/21	214	563	777
jul/21	191	493	684
ago/21	197	472	669
Consumo anual	3274	6041	9315

Fonte: Pesquisa direta (2021)

O valor do consumo anual total de 9315 kWh será usado como referência de consumo para todos os anos, sobre o qual serão descontados a energia gerada.

4.5 Comparativo entre geração e consumo

A partir dos dados obtidos anteriormente, pode-se realizar uma comparação entre o consumo de energia e a energia gerada. O gráfico na Figura 18 ilustra essa comparação mês a mês.

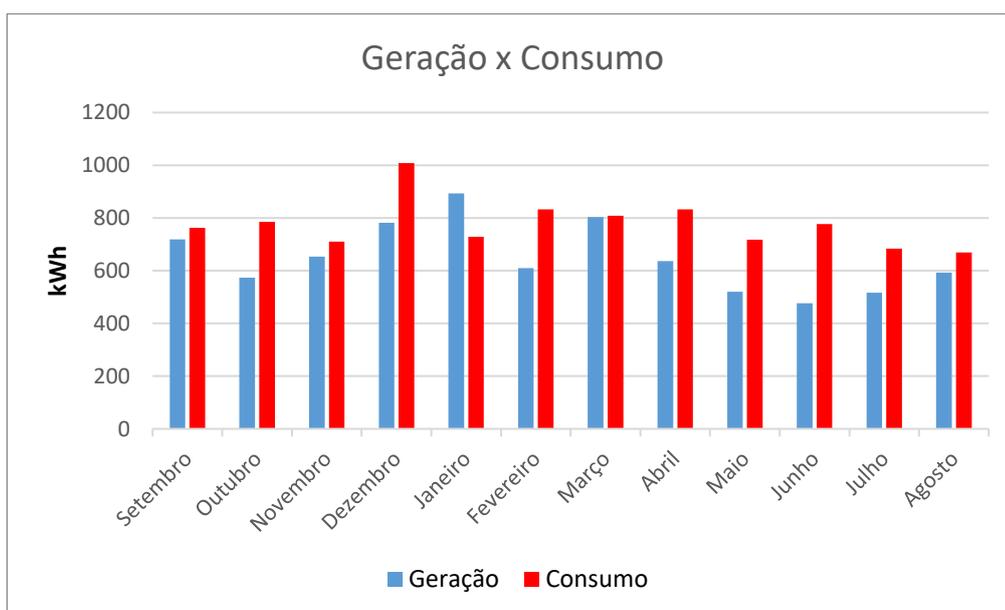


Figura 18 – Comparativo entre geração e consumo de energia.

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Como se pode notar, em todos os meses, com exceção do mês de janeiro, o consumo de energia elétrica superou a geração fotovoltaica.

Na Figura 19 está representada a comparação entre a média de consumo anual e a maior média de geração de energia anual, ou seja, sem considerar o decaimento da geração devido ao desgaste dos equipamentos do sistema fotovoltaico.

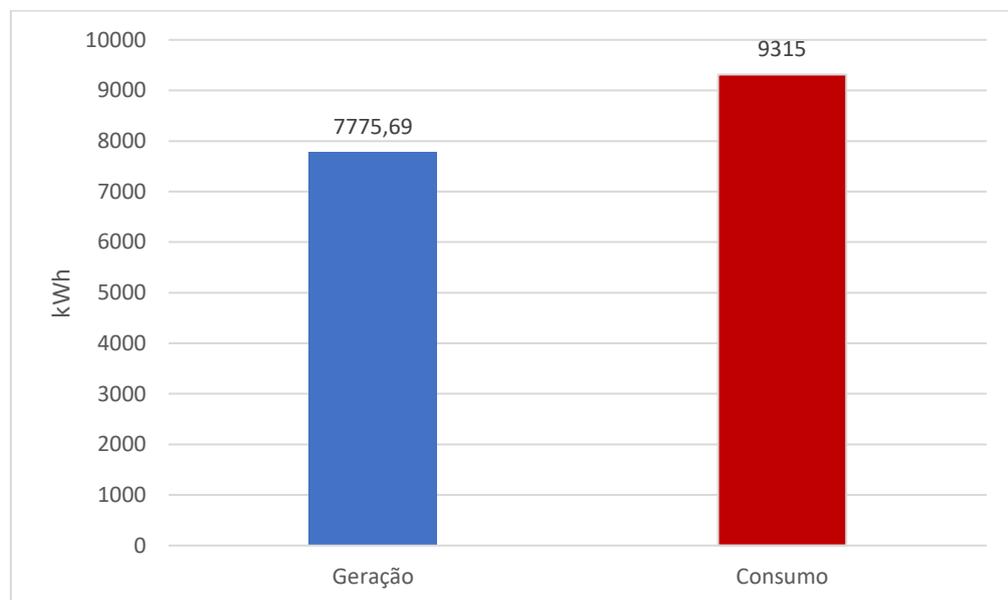


Figura 19 – Comparativo entre média anual de geração e consumo de energia.
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Como se pode observar, a média de consumo anual é superior à maior média de geração anual. Sendo assim, pode ser dito que toda a energia gerada será aproveitada, ou seja, todos os kWh gerados serão abatidos na conta de energia.

Importante notar que a queda da geração devido à perda de rendimento anual será contabilizada para os cálculos de viabilidade econômica.

4.6 Tarifas sobre o consumo de energia

Através de pesquisa no site da ANEEL (2021), foi acessado o histórico dos reajustes das tarifas de energia elétrica cobradas pela CEMIG, representado na Tabela 8.

Tabela 8 – Histórico de reajuste das tarifas da CEMIG.

ANO	PORCENTAGEM (%)
2008	5,16
2009	6,21
2010	1,67
2011	10,47
2012	3,85
2013	-15,88
2014	16,33
2015	35,87
2016	3,78
2017	-10,66
2018	23,19
2019	8,73
2020	0

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Analisando-se a tabela, pode-se encontrar o valor de 6,85% como média de reajuste anual durante os anos citados. Este valor será usado para se realizar uma projeção das tarifas futuras cobradas sobre o kWh, mas antes deve ser entendido que a tarifa pode assumir determinados valores em função da bandeira tarifária vigente.

As bandeiras tarifárias são definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de acordo com as condições atuais de geração de energia. Por exemplo, na bandeira verde tem-se as condições de geração mais favoráveis. Na bandeira amarela, tem-se condições de geração não tão favoráveis. Já a bandeira vermelha é acionada quando as termelétricas estão em funcionamento, e seu segundo patamar também pode ser acionado quando se tem as piores condições de geração possível. No entanto, em Agosto de 2021 foi realizada a criação de um novo patamar, o de Escassez Hídrica, quando há a possibilidade de se realizar importação de energia pela falta de recursos hídricos, passando a ser essa a bandeira mais custosa. As tarifas dessas diversas condições são mostradas na Figura 20.



Figura 20 – Bandeiras tarifárias.
Fonte: Lumus Engenharia (2021)

O custo do kWh ofertado pela CEMIG, com impostos e de acordo com cada bandeira tarifária vigente, pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Custo do kWh ofertado pela CEMIG.

Bandeiras				
Verde (R\$/kWh)	Amarela (R\$/kWh)	Vermelha 1 (R\$/kWh)	Vermelha 2 (R\$/kWh)	Escassez (R\$/kWh)
0,8614613	0,8830397	0,9206366	0,9842834	1,1304380

Fonte: Adaptado de CEMIG (2021)

Pode-se então realizar a projeção das tarifas vigentes para os próximos anos, de acordo com cada bandeira tarifária. Essa projeção é vista na Tabela 10, incrementando 6,85% ao ano.

Tabela 10 – Projeção das tarifas de energia futuras.

ANO	Bandeiras				
	Verde (R\$/kWh)	Amarela (R\$/kWh)	Vermelha 1 (R\$/kWh)	Vermelha 2 (R\$/kWh)	Escassez (R\$/kWh)
1	0,8614613	0,8830397	0,9206366	0,9842834	1,1304380
2	0,9204714	0,9435279	0,9837002	1,0517068	1,2078730
3	0,9835237	1,0081596	1,0510837	1,1237487	1,2906123
4	1,0508950	1,0772185	1,1230829	1,2007255	1,3790193
5	1,1228813	1,1510080	1,2000141	1,2829752	1,4734821
6	1,1997987	1,2298520	1,2822150	1,3708590	1,5744156
7	1,2819849	1,3140969	1,3700468	1,4647628	1,6822631
8	1,3698009	1,4041125	1,4638950	1,5650991	1,7974981
9	1,4636322	1,5002943	1,5641718	1,6723084	1,9206267
10	1,5638911	1,6030644	1,6713175	1,7868615	2,0521897
11	1,6710176	1,7128743	1,7858028	1,9092615	2,1927646
12	1,7854823	1,8302062	1,9081303	2,0400459	2,3429690
13	1,9077878	1,9555753	2,0388372	2,1797891	2,5034624
14	2,0384713	2,0895323	2,1784976	2,3291046	2,6749496

Fonte: Pesquisa direta (2021).

4.7 Retorno da geração de energia

Como fora dito, toda a energia gerada pelo sistema será abatida na conta de luz. Sendo assim, pode-se gerar o retorno previsto em R\$ para os anos que se seguem. Multiplicando-se a geração anual prevista em kWh pela projeção das tarifas em R\$/kWh, pode-se determinar o retorno anual e acumulado da geração de energia em R\$. Foi realizado então essa previsão para cada uma das bandeiras tarifárias, como pode ser observado na Tabela 11:

Tabela 11 – Projeção do retorno anual de geração.

Período (Anos)	Retorno no período				
	Verde	Amarela	Vermelha 1	Vermelha 2	Escassez
0	R\$ 6.698,46	R\$ 6.866,24	R\$ 7.158,58	R\$ 7.653,48	R\$ 8.789,94
1	R\$ 7.107,20	R\$ 7.285,22	R\$ 7.595,41	R\$ 8.120,50	R\$ 9.326,30
2	R\$ 7.540,51	R\$ 7.729,39	R\$ 8.058,48	R\$ 8.615,59	R\$ 9.894,91
3	R\$ 7.999,83	R\$ 8.200,22	R\$ 8.549,36	R\$ 9.140,40	R\$ 10.497,65
4	R\$ 8.486,70	R\$ 8.699,28	R\$ 9.069,67	R\$ 9.696,69	R\$ 11.136,53
5	R\$ 9.002,74	R\$ 9.228,25	R\$ 9.621,15	R\$ 10.286,30	R\$ 11.813,69
6	R\$ 9.549,65	R\$ 9.788,85	R\$ 10.205,63	R\$ 10.911,18	R\$ 12.531,36
7	R\$ 10.129,24	R\$ 10.382,96	R\$ 10.825,04	R\$ 11.573,41	R\$ 13.291,93
8	R\$ 10.743,43	R\$ 11.012,54	R\$ 11.481,41	R\$ 12.275,16	R\$ 14.097,88
9	R\$ 11.394,23	R\$ 11.679,64	R\$ 12.176,92	R\$ 13.018,75	R\$ 14.951,89
10	R\$ 12.083,78	R\$ 12.386,47	R\$ 12.913,84	R\$ 13.806,62	R\$ 15.856,74
11	R\$ 12.814,34	R\$ 13.135,32	R\$ 13.694,58	R\$ 14.641,33	R\$ 16.815,40
12	R\$ 13.588,28	R\$ 13.928,65	R\$ 14.521,68	R\$ 15.525,62	R\$ 17.830,99
13	R\$ 14.408,12	R\$ 14.769,03	R\$ 15.397,84	R\$ 16.462,35	R\$ 18.906,82

Fonte: Pesquisa direta (2021).

4.8 Análise de viabilidade econômica

Primeiramente, deve-se definir a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Para esse trabalho, será adotado a média da taxa anual de rendimento da poupança durante 5 anos, calculada a partir do histórico mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 – Histórico de rendimento da poupança.

Ano	Retorno absoluto (%)
2020	2,11
2019	4,26
2018	4,62
2017	6,61
2016	8,30

Fonte: Toro Investimentos (2021).

Portanto, a média da poupança anual adotada como valor de TMA é de 5,18% ao ano.

É realizado então uma análise dos fluxos de caixa com seus respectivos Valores Presentes para cada uma das bandeiras tarifárias, a partir dos custos de instalação e manutenção e as entradas ou retornos com a geração de energia. Esses valores estão representados a seguir nas Tabelas 13, 14, 15, 16 e 17.

Tabela 13 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária verde.

Bandeira Verde							
Ano	Saídas (Custos)	Entradas (Retornos)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado		
0	-R\$ 22.500,00	R\$ -	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00		
1	-R\$ 200,00	R\$ 6.698,46	R\$ 6.498,46	R\$ 6.161,84	-R\$ 16.338,16		
2	-R\$ 208,72	R\$ 7.107,20	R\$ 6.898,48	R\$ 6.202,31	-R\$ 10.135,86		
3	-R\$ 217,82	R\$ 7.540,51	R\$ 7.322,69	R\$ 6.242,67	-R\$ 3.893,19		
4	-R\$ 227,32	R\$ 7.999,83	R\$ 7.772,51	R\$ 6.282,92	R\$ 2.389,73		
5	-R\$ 237,23	R\$ 8.486,70	R\$ 8.249,47	R\$ 6.323,04	R\$ 8.712,77		
6	-R\$ 247,57	R\$ 9.002,74	R\$ 8.755,17	R\$ 6.363,03	R\$ 15.075,81		

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Tabela 14 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária amarela.

Bandeira Amarela						
Ano	Saídas (Custos)	Entradas (Retornos)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado	
0	-R\$ 22.500,00	R\$ -	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	
1	-R\$ 200,00	R\$ 6.866,24	R\$ 6.666,24	R\$ 6.320,93	-R\$ 16.179,07	
2	-R\$ 208,72	R\$ 7.285,22	R\$ 7.076,50	R\$ 6.362,37	-R\$ 9.816,70	
3	-R\$ 217,82	R\$ 7.729,39	R\$ 7.511,57	R\$ 6.403,69	-R\$ 3.413,01	
4	-R\$ 227,32	R\$ 8.200,22	R\$ 7.972,90	R\$ 6.444,90	R\$ 3.031,89	
5	-R\$ 237,23	R\$ 8.699,28	R\$ 8.462,05	R\$ 6.485,98	R\$ 9.517,87	
6	-R\$ 247,57	R\$ 9.228,25	R\$ 8.980,68	R\$ 6.526,93	R\$ 16.044,79	

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Tabela 15 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária vermelha I.

Bandeira Vermelha 1						
Ano	Saídas (Custos)	Entradas (Retornos)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado	
0	-R\$ 22.500,00	R\$ -	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	
1	-R\$ 200,00	R\$ 7.158,58	R\$ 6.958,58	R\$ 6.598,13	-R\$ 15.901,87	
2	-R\$ 208,72	R\$ 7.595,41	R\$ 7.386,69	R\$ 6.641,24	-R\$ 9.260,63	
3	-R\$ 217,82	R\$ 8.058,48	R\$ 7.840,66	R\$ 6.684,25	-R\$ 2.576,38	
4	-R\$ 227,32	R\$ 8.549,36	R\$ 8.322,04	R\$ 6.727,12	R\$ 4.150,75	
5	-R\$ 237,23	R\$ 9.069,67	R\$ 8.832,44	R\$ 6.769,87	R\$ 10.920,62	
6	-R\$ 247,57	R\$ 9.621,15	R\$ 9.373,58	R\$ 6.812,48	R\$ 17.733,10	

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Tabela 16 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária vermelha II.

Bandeira Vermelha 2						
Ano	Saídas (Custos)	Entradas (Retornos)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado	
0	-R\$ 22.500,00	R\$ -	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	
1	-R\$ 200,00	R\$ 7.653,48	R\$ 7.453,48	R\$ 7.067,39	-R\$ 15.432,61	
2	-R\$ 208,72	R\$ 8.120,50	R\$ 7.911,78	R\$ 7.113,35	-R\$ 8.319,26	
3	-R\$ 217,82	R\$ 8.615,59	R\$ 8.397,77	R\$ 7.159,19	-R\$ 1.160,07	
4	-R\$ 227,32	R\$ 9.140,40	R\$ 8.913,08	R\$ 7.204,90	R\$ 6.044,83	
5	-R\$ 237,23	R\$ 9.696,69	R\$ 9.459,46	R\$ 7.250,47	R\$ 13.295,30	
6	-R\$ 247,57	R\$ 10.286,30	R\$ 10.038,73	R\$ 7.295,89	R\$ 20.591,19	

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Tabela 17 – Fluxo de caixa e valor presente para a bandeira tarifária de escassez hídrica.

Bandeira de Escassez Hídrica						
Ano	Saídas (Custos)	Entradas (Retornos)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado	
0	-R\$ 22.500,00	R\$ -	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	-R\$ 22.500,00	
1	-R\$ 200,00	R\$ 8.789,94	R\$ 8.589,94	R\$ 8.144,98	-R\$ 14.355,02	
2	-R\$ 208,72	R\$ 9.326,30	R\$ 9.117,58	R\$ 8.197,47	-R\$ 6.157,56	
3	-R\$ 217,82	R\$ 9.894,91	R\$ 9.677,09	R\$ 8.249,82	R\$ 2.092,26	
4	-R\$ 227,32	R\$ 10.497,65	R\$ 10.270,33	R\$ 8.302,03	R\$ 10.394,29	
5	-R\$ 237,23	R\$ 11.136,53	R\$ 10.899,30	R\$ 8.354,08	R\$ 18.748,37	
6	-R\$ 247,57	R\$ 11.813,69	R\$ 11.566,12	R\$ 8.405,96	R\$ 27.154,33	

Fonte: Pesquisa direta (2021).

4.9 Análise dos resultados

A partir dos fluxos de caixa obtidos, foram calculados no software Microsoft Excel os parâmetros de Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback para cada uma das situações tarifárias. Em todas as situações foi utilizada uma Taxa Mínima de Atratividade de 5,18%. O VPL e a TIR foram calculados com base em uma projeção de 6 anos. Um resumo dos cálculos para cada bandeira tarifária pode ser visto na Tabela 18.

Tabela 18 – Indicadores de viabilidade econômica.

PARÂMETRO	BANDEIRAS				
	VERDE	AMARELA	VERMELHA 1	VERMELHA 2	ESCASSEZ
VPL	R\$ 15.075,81	R\$ 16.044,79	R\$ 17.733,10	R\$ 20.591,19	R\$ 27.154,33
TMA	5,18%	5,18%	5,18%	5,18%	5,18%
TIR	23,24%	24,27%	26,04%	28,98%	35,49%
PAYBACK	4 Anos	4 Anos	4 Anos	4 Anos	3 Anos

Fonte: Pesquisa direta (2021).

A seguir, na Figura 21, tem-se um gráfico de comparação do Valor Presente Líquido de cada uma das tarifas.

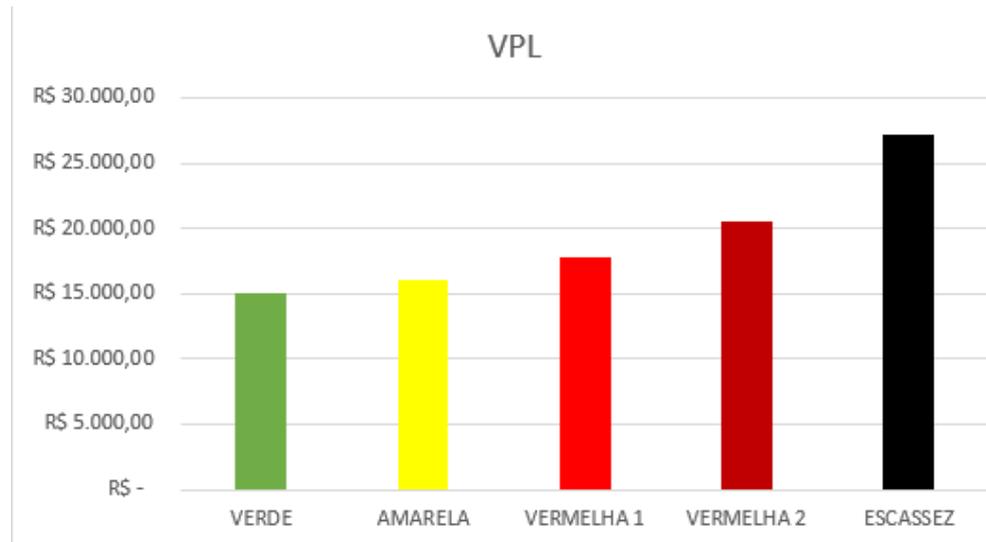


Figura 21 – VPL para cada bandeira tarifária.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

O que se observa é que o VPL final se eleva com o aumento da tarifa energética, possuindo seu menor valor na Bandeira Verde e maior valor na Bandeira de Escassez Hídrica. Isso se deve ao fato de que o aumento da tarifa energética implica também em um maior retorno em Reais de uma mesma geração quando comparado com um retorno numa tarifa menor.

Em relação à Taxa Interna de Retorno pode-se realizar a mesma associação. Uma elevação no custo da energia impacta em um maior retorno para o consumidor, elevando assim a TIR. Uma comparação entre as bandeiras pode ser vista na Figura 22.

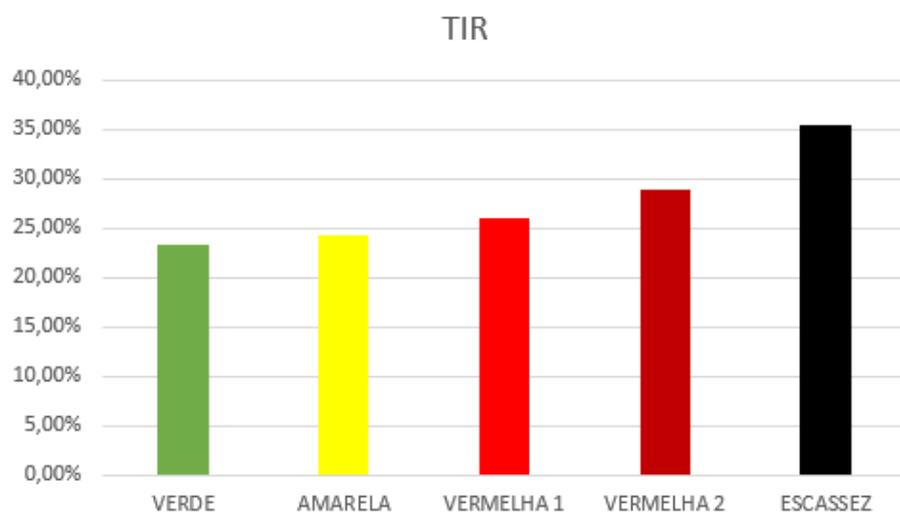


Figura 22 – TIR para cada bandeira tarifária.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

Já em relação ao Payback, a comparação entre as diferentes bandeiras pode ser vista na Figura 23.

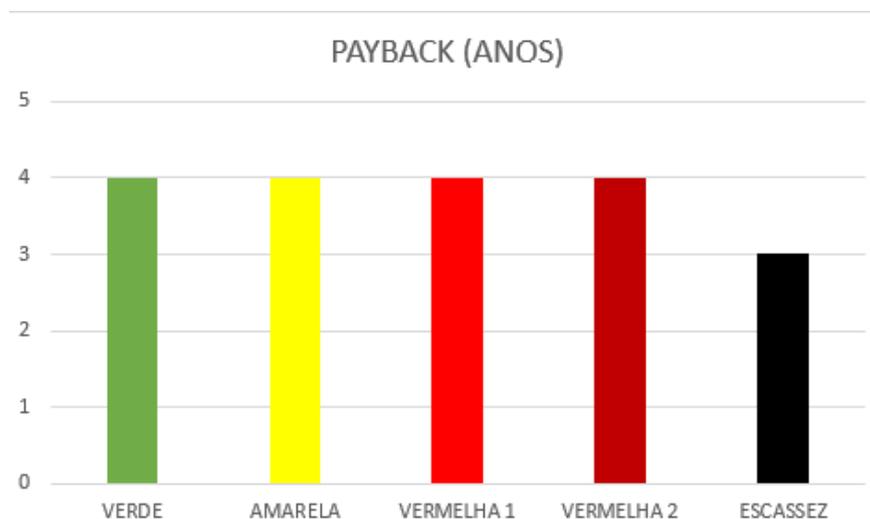


Figura 23 – Payback para cada bandeira tarifária.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

Como esperado, tem-se um tempo de Payback menor para a Bandeira de Escassez Hídrica, de 3 anos, enquanto que nas outras bandeiras o tempo de Payback foi de 4 anos.

É importante notar que embora o Payback das Bandeiras Verde, Amarela, Vermelha 1 e 2 estejam iguais em termos de anos, se o Payback for analisado com uma escala de tempo menor (mensal, por exemplo) será verificado que o menor Payback será da Bandeira Vermelha 2, seguindo pela Vermelha 1, Amarela e Verde. Como a análise foi feita em escala anual, os Paybacks em cada situação tarifária acabaram por se igualar.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

O objetivo deste estudo de caso foi analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma residência. Para isso, foi tomado como exemplo um sistema já instalado em uma residência no município de Ipatinga, MG.

Coletando-se as informações de geração fornecidas, juntamente com o padrão de consumo da residência, foi possível o cálculo de parâmetros de viabilidade econômica em diferentes valores de tarifas de energia, que se alteram de acordo com a bandeira tarifária vigente no momento.

Em geral, o que se pode observar é que a viabilidade do investimento aumenta de acordo com o aumento da tarifa de energia vigente para um mesmo consumo. Isso ocorre devido ao aumento do valor que é economizado graças à geração. Sendo assim, o investimento possui um melhor retorno, em ordem decrescente, nas bandeiras Escassez Hídrica, Vermelha 2, Vermelha 1, Amarela e Verde.

No melhor cenário possível, estando vigente a Bandeira de Escassez Hídrica e considerando-se um período de 6 anos para o cálculo dos indicadores, tem-se um Valor Presente Líquido de R\$ 27.154,33, uma Taxa Interna de Retorno de 35,49% e um Payback de 3 anos. No pior cenário, estando vigente a Bandeira Verde, tem-se um Valor Presente Líquido de R\$ 15.075,81, uma Taxa Interna de Retorno de 23,24% e um Payback de 4 anos.

Em ambos os casos, pode-se dizer que sim, o investimento é economicamente viável, dado que a Taxa Interna de Retorno supera com folga a Taxa Mínima de Atratividade adotada como 5,18%. Em relação ao Payback, o período encontrado é considerado como ótimo, ou seja, é um investimento com retorno de curto prazo.

Levando-se em consideração também os benefícios ao meio ambiente e a relativa segurança do investimento, dado que os equipamentos possuem um longo período de garantia, pode-se perceber que o investimento possui mais pontos positivos que negativos, tornando-se bastante atrativo.

Portanto, os objetivos do trabalho foram alcançados, dado que foi possível a realização dos cálculos de viabilidade econômica e estabelecimento do investimento como uma boa oportunidade.

5.2 Recomendações

Seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar cálculos para encontrar quais seriam os possíveis ganhos caso os módulos fotovoltaicos estivessem inclinados de acordo com o ângulo teórico ideal;
- Calcular a queda de rendimento dos módulos fotovoltaicos devido à influência da temperatura;
- Utilizar outros indicadores de viabilidade econômica, como o ROIA.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABSOLAR. **CONTRIBUIÇÕES À CONSULTA PÚBLICA Nº 025/2019**. Disponível em:<<https://bit.ly/3tTmSnh>>. Acesso em: 14 Mar 2021.

AID. **Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública**. ANEEL. 2019. Disponível em:<https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877> Acesso em: 14 Mar 2021.

ANDRADE, M.M.D.; MARIA, L.E. **Metodologia do Trabalho Científico**, 8ª edição. Grupo GEN, 2017. 9788597012408. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597012408/>. Acesso em: 13 Apr 2021

BRASIL. **DECRETO Nº 2.335, DE 6 DE OUTUBRO DE 1997**. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2335.HTM>. Acesso em: 14 Mar 2021.

BRASIL. **LEI Nº 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996**. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9427compilada.htm> Acesso em: 14 Mar 2021.

BRASIL. **PROJETO DE LEI Nº 10370/2018, DE 2018**. Disponível em:<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1666385>. Acesso em: 14 Mar 2021.

CAMARGO, R.F.D. **Taxa Interna de Retorno: como a TIR é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto?**. Treasy. 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Acesso em: 24 Mar 2021.

CAMARGO, R.F.D. **Veja como o Valor Presente Líquido (VPL) ajuda na análise de viabilidade de um investimento**. Treasy. 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl>>. Acesso em: 24 Mar 2021.

CARLOS, G. A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**, 6ª edição. Grupo GEN, 2017. 9788597012934. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597012934/>. Acesso em: 13 Apr 2021

COOPER, E; JUNIOR, W.M.M. **Aplicação de painéis solares fotovoltaicos como fonte geradora complementar de energia elétrica em residências**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2013. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/259.pdf>> Acesso em: 13 Mar 2021.

CORONA SOLAR. **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.coronasolar.com.br/>>. Acesso em: 14 Mar 2021.

CRESESB. **Tutorial de energia solar fotovoltaica. 2008**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=4> Acesso em: 12 Mar 2021.

Dos, R.L. B. **Geração de Energia Elétrica**. Editora Manole, 2011. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520443088/>. Acesso em: 12 Mar 2021.

EVERTON, J. **Crise hídrica e seus impactos na conta de energia**. Disponível em: <<https://lumusengenharia.com.br/blog/crise-hidrica-e-seus-impactos-na-conta-de-energia/>>. Acesso em: 18 Nov 2021.

FÁBIO, F. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. Grupo GEN, 2011. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522477722/>>. Acesso em: 24 Mar 2021.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.; BERGMAN, Theodore L.; LAVINE; Adrienne S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JUNIOR, L.A.W.P. **O que diz a legislação de Energia Solar no Brasil? Confira 5 pontos**. HCC Energia Solar. 29 de Junho, 2020. Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/posts/o-que-diz-a-legislacao-de-energia-solar-no-brasil-confira-5-pontos/>> Acesso em: 14 Mar 2021.

K., H. B. **Sistemas e Aplicações de Energia Alternativa**. Grupo GEN, 2011. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2257-4/>. Acesso em: 11 Mar 2021.

LIMA, A.C.; DELPUPO, A.D.; SILVA, B.F.P.; SACRAMENTO, B.F.; MADUREIRA, C.C.; ALVARENGA, H.M.; RAMOS, H.E.D.A.; SILVA, J.G.F.D.; SCARPATTI, M.P.; ALMEIDA, P.V.D. **A energia solar no espírito santo. 2013**. Disponível

em:<<https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Estudos%20Energ%C3%A9ticos/2013/EnergiaSolarES.pdf>>Acesso em: 13 Mar 2021.

NERIS, A. **Entenda o que é eficiência de um painel solar.** ALDO. 2020. Disponível em:<<https://www.aldo.com.br/blog/entenda-o-que-e-eficiencia-de-um-painel-solar/>>Acesso em: 12 Mar 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar.** São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>. Acesso em: 10 Mar 2021.

PINHO, J. T. e GALINDO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB. Março de 2014.

REIS, T. **Payback: entenda como calcular o prazo de retorno de um investimento.** SUNO. 2019. Disponível em: <<https://www.suno.com.br/artigos/payback/>>. Acesso em: 24 Mar 2021.

REIS, T. **Por que fazer a análise de viabilidade de um negócio é tão importante?** SUNO. 2018. Disponível em: <<https://www.suno.com.br/artigos/analise-de-viabilidade/>>. Acesso em: 24 Mar 2021.

TORO INVESTIMENTOS. **Afinal, quanto rende a poupança hoje, por mês e ao ano?** Disponível em: <<https://blog.toroinvestimentos.com.br/quanto-rende-a-poupanca>>. Acesso em 18 Nov 2021.