

**EFEITOS ECONÔMICOS NA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL EM MINAS GERAIS****ECONOMIC EFFECTS ON THE USE OF RESIDENTIAL SOLAR ENERGY IN MINAS GERAIS**Davi Pereira Ribeiro<sup>1</sup>Matheus Ribeiro Xavier<sup>2</sup>Thiago Rezende Corsino<sup>3</sup>Diego De Jesus Queiroz Rosa<sup>4</sup>*Recebido em: 19.06.2022**Aprovado em: 14.07.2022*

**Resumo:** Mediante ao avanço do aquecimento global, faz-se necessária a geração e utilização de fontes de energias renováveis, sendo uma das principais deste grupo a energia fotovoltaica. Além do aspecto ecoeficiente, atualmente, Minas Gerais possui a energia elétrica mais cara do Brasil. Diante desse cenário, este trabalho tem o objetivo de analisar os efeitos econômicos da implantação de um sistema de geração e energia fotovoltaica residencial, analisando os custos de investimento, bem como o retorno financeiro, além dos benefícios para o meio ambiente. Com isso, será realizado um estudo de caso, a fim de se obter os dados necessários para tal análise.

**Palavras-chave:** Energia renovável. Energia fotovoltaica. Investimento. Retorno financeiro. Meio ambiente.

---

<sup>1</sup> Discente do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais

<sup>2</sup> Discente do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais

<sup>3</sup> Discente do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais

<sup>4</sup> Revisor. Mestre em Processos Construtivos na Área de Concentração de Materiais de Construção Civil pela Universidade FUMEC, Graduado em Engenharia Civil pela Universidade FUMEC.

**Abstract:** Due to the advance of global warming, it is necessary to generate and use renewable energy sources, with photovoltaic energy being one of the main ones in this group. In addition to the eco-efficient aspect, Minas Gerais currently has the most expensive electricity in Brazil. Given this scenario, this work aims to analyze the economic effects of the implementation of a residential photovoltaic generation and energy system, analyzing the investment costs, as well as the financial return, in addition to the benefits for the environment. With that, a case study will be carried out, in order to obtain the necessary data for such analysis.

**Keywords:** Renewable energy. Photovoltaics. Investment. Financial feedback. Environment.

## 1 INTRODUÇÃO

Mediante ao avanço do aquecimento global e do crescimento populacional, faz-se necessária a geração e utilização de fontes de energias renováveis, sendo uma das principais a energia fotovoltaica. Além do aspecto sustentável, atualmente, em Minas Gerais, as tarifas da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), não as bandeiras, estão congeladas até maio de 2022, entretanto, a partir de julho de 2021 ocorreu um aumento na cobrança da bandeira vermelha de 52%, sendo, com isso, a mais alta a ser cobrada na luz em períodos de baixa oferta, o que gerou grande impacto econômico no consumo de energia elétrica no estado (MAGALHÃES, 2021).

A energia solar fotovoltaica é conceituada como a energia gerada por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isso ocorre através de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que age empregando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico que, por meio da absorção da luz solar, causa uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor.

### 1.1 Contexto do Problema

Sabe-se que o uso de energia elétrica está em constante crescimento em quase todos os lugares e que seu custo-benefício está mais elevado e ainda que tem-se problemas com a dependência das grandes hidrelétricas, principalmente devido às condições climáticas instáveis em que observa-se problemas na geração de energia. Entretanto, com o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica como um novo tipo de tecnologia, a qual, conseqüentemente, aliviará o sistema elétrico de distribuição.

A importância da energia renovável e das fontes alternativas são os benefícios para a diminuição das termoelétricas no país, pois a energia alternativa traz um impacto muito menor que as termoelétricas e as tecnologias convencionais. A energia solar fotovoltaica é conceituada como o tipo de energia originada por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade, o que ocorre através de um dispositivo denominado como célula fotovoltaica que opera usando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico.

A geração de energia fotovoltaica ocorre quando as células fotovoltaicas são expostas aos raios solares e as células os absorvem convertendo em energia elétrica e é empregada em situações residenciais e comerciais e, devido a isso, torna-se importante que se tenha conhecimento acerca desse tipo de geração. A energia solar fotovoltaica desenvolveu seu mercado a partir da busca por melhorias, bem como por meio das pesquisas e investimentos em tecnologias que empregam recursos naturais renováveis, visando a diversificação da matriz energética.

O Brasil possui um grande potencial solar energético, essencialmente devido à sua situação climática, porém, em geral, as informações sobre a evolução desse tipo de energia são repassadas à população de forma ineficiente, assim como os avanços são pouco difundidos.

O sistema solar fotovoltaico é utilizado em circuitos de média e alta tensão, no qual é responsável por gerar eletricidade em um processo silencioso, limpo e operado no mesmo local de consumo, principalmente em uma época em que os principais processos de produção de eletricidade são alvos de críticas pelos grandes impactos gerados no meio ambiente. Assim, a produção de eletricidade por meio de geradores fotovoltaicos já é, para muitas pessoas, uma realidade técnica e econômica que se espalha por todo território mundial e que começa a ter força no Brasil.

A energia fotovoltaica vem crescendo gradativamente no mercado mundial, utilizando-se a tecnologia solar e, com isso, tem-se no Brasil regiões que não possuem rede elétrica instalada, os quais são locais com difícil acesso. As instalações da energia solar iniciaram-se nesses locais, cuja finalidade seria ser um tipo de energia autossustentável, dispersando, dessa forma, como uma fonte de energia economicamente duradoura para todo o país e não somente para regiões isoladas.

A energia solar se trata de uma fonte de energia simples, a qual permite autonomia e uma economia ao longo do tempo, fazendo jus de ser explorada e melhor aproveitada, podendo ser tornar, em teoria, uma solução para os problemas energéticos da sociedade.

## 1.2 Problema de pesquisa

Quais os efeitos econômicos da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica em uma residência?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

Analisar os efeitos econômicos da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica em uma residência unifamiliar.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar os custos de investimento da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica;
- Estimar o tempo de retorno financeiro após o investimento inicial;
- Identificar a evolução da adesão nas esferas residenciais.

## 1.4 Justificativa

A importância da energia renovável e das fontes alternativas são os benefícios para a diminuição das termelétricas no país, pois a energia alternativa traz um impacto muito menor que as termelétricas e as tecnologias convencionais comparando como base em combustíveis fósseis, também muitas das energias alternativas é renovável, como a energia solar fotovoltaica, que é tirada da luz solar, podendo ser alterada em calor, térmica e elétrica.

O tema geração de energia fotovoltaica residencial é relevante, uma vez que identifica-se alguns aspectos sobre umas das mais promissoras fontes de energia sustentável.

Para a comunidade, entende-se que existe uma grande incidência de sol na maior parte do território brasileiro e a geração com base na energia solar fotovoltaica seria um fato relevante para a sociedade brasileira, porque, além de promover benefícios em relação aos custos da energia, tem-se ainda o fato de gerar benefícios ao meio ambiente.

Assim é fácil perceber que o país necessita de mais fontes de energias renováveis, pois de acordo com os estudos, a implantação da energia solar no Brasil ainda é pequena, devido à falta de investimentos, incentivos governamentais e carência no conhecimento da população no que se refere a esse sistema, contribuindo com aderência desse tipo de sistema em que todos podem gerar sua própria energia em suas residências, hospitais e indústrias, inclusive visando economias e sustentabilidade.

Com relação à área de engenharia civil, este estudo se justifica, uma vez que o tema é importante para estes profissionais, pois o Brasil apresenta uma grande carência em termos relacionados à energia elétrica e, com isso, seu sistema gerador é baseado em hidrelétricas que tendem apresentar insuficiência em época de seca.

O tema é muito importante e merece a atenção pelo fato de se tratar de um tipo de energia renovável, não poluente e abundante, existindo, contudo, determinadas desvantagens, inclusive devido à sua dependência em relação às condições climáticas, bem como pelas formas de armazenamento pouco eficientes e painéis solares com rendimentos ainda baixos.

Trata-se de um tema que pode contribuir de forma significativa tanto para o meio acadêmico, bem como para uma melhor atuação do profissional de engenharia civil. Busca-se por melhorias e pesquisas e investimentos utilizando-se de tecnologias por meio de recursos naturais renováveis, os quais contribuem para a minimização do impacto ambiental e, com isso, tem-se dentre tais tecnologias, a energia solar fotovoltaica, como uma alternativa de fonte de energia, a qual passou a ser mais popular e expandiu seu mercado econômico.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Energia solar fotovoltaica: conceitos e características**

Segundo Bezerra (2017), a energia originada pelo sol, analisada como sendo inexaurível em escala terrestre de tempo, como fonte de calor e luz é presentemente uma das opções energéticas mais prósperas para prover a demanda de energia indispensável para o desenvolvimento humano. Sabe-se

também que o sol é responsável pela procedência de quase todas as fontes de energia existentes na Terra.

Segundo Buono et al. (2019), a energia é elemento ativo e de suma importância da sociedade moderna. Para se gerar produtos, manufaturar e processar os recursos naturais, fortalecer mercados e economias, conservar governos, manter o mundo são indispensáveis fontes seguras de energia. Pode-se considerar esses métodos aplicados como simples, bem como até intervenções complicadas, nas áreas urbanas e rurais, nos prédios, nos hospitais, restaurantes, estádios, comunidades, ruas, nas indústrias, nos maquinários agrícolas e pecuários, por fim são intermináveis as aplicações que no mundo moderno são condicionados da energia.

Almeida et al. (2015) conceituam a energia fotovoltaica como a energia gerada por meio do convertimento direto da radiação solar em eletricidade. Tal situação ocorre através de um dispositivo versado como célula fotovoltaica que age empregando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico. O efeito fotovoltaico é originado por meio da absorção da luz solar, que gera uma diferença de potencial na estrutura do material semiconductor. Uma célula fotovoltaica não contém energia elétrica. Somente conserva um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto existir encontro de luz sobre ela. Este acontecimento é chamado “Efeito Fotovoltaico”.

A Energia Fotovoltaica (EFV) é o convertimento da energia dos raios solares que é auferida pela placa fotovoltaica em energia elétrica, por meio da ação dos raios com os elementos contidos nas células que fazem parte da composição da placa, como o silício. Em qualquer ambiente em que haja ocorrência de forma direta ou indireta de raios solares é plausível a exploração energética, podendo, devido ao local ser bom ou não (BUONO et al., 2019, p. 2).

Relatos de Alves (2016) descrevem que, de acordo com a história confere-se ao físico francês Alexandre Edmond Becquerel, em 1839, a primeira nota e definição do efeito fotovoltaico. A primeira célula fotovoltaica de silício monocristalino de maior aplicabilidade prática foi desenvolvida em 1954 nos laboratórios Bell, em investigação administrada pelos pesquisadores Pearson, Fuller e Chapin (1954).

De acordo com Alves (2016), o efeito fotovoltaico é conceituado como o acontecimento resultante da interação entre a luz (fótons) e os materiais semicondutores empregados na fabricação das células fotovoltaicas. Como decorrência do efeito fotovoltaico se terá a mutação de energia solar em energia elétrica. A terminologia fotovoltaica tem sua origem da fusão entre os termos foto, que em grego é luz, e voltaica proveniente da unidade de tensão elétrica denominada de Volts. A maior fonte primária de energia do planeta terra é sem dúvida o sol, sendo o mesmo responsável direto pela vida na terra devido à gigantesca quantidade de energia que este aprovisiona de maneira gratuita e limpa. A energia solar aprovisiona especialmente luz e calor a terra, provendo as precisões de animais, vegetais e numerosos processos orgânicos e reações químicas, como por exemplo a fotossíntese.

Conforme Bueno et al. (2019), de acordo com a história, progressos tecnológicos e científicos evidenciaram a habilidade evolutiva do ser humano sendo, de maneira exponencial, incentivada por melhoramentos das descobertas energéticas. Da mesma forma como esse crescimento ocorreu, compreendem-se as implicações políticas comprovadas por episódios como a confiscação do petróleo em 1973, a revolução Iraniana em 1979, a Guerra do Golfo Pérsico de 1991, a invasão do Iraque em 2003, guerra na Síria e os eventos provenientes de tais tumultos, que apresentam como fontes elementares o empenho econômico pelas áreas estratégicas de exploração energética.

No final da cadeia de domínio de qualquer país ou instituição, acha-se o indivíduo como parte complementar desse sistema. No caso dos elétrons que são regidos por condutores, estes são do mesmo modo as pessoas norteadas por entre as profundezas da história que faz transformar e se amoldar-se ao ambiente ao redor, o que faz com que cada indivíduo, mesmo mínimo nesse furacão de acontecimentos, bem importantes para a salvaguarda da sua adequada vida (BUONO et al., 2019).

Buono et al. (2019) ressaltam que em geral os elementos acerca do desenvolvimento energético no Brasil chegam de maneira ineficiente a população habitual, e os progressos são pouco difundidos nas instituições de ensino médio e até superiores. A energia fotovoltaica é empreendida em



circunstâncias residenciais e comerciais e, devido a tal fato, surge a importância de se ter conhecimento acerca dessa modalidade de geração.

Conforme Alves (2016), mais um tipo de aplicação da energia originária dos raios solares é a sua aplicação para geração direta e indireta de eletricidade (energia solar fotovoltaica e energia solar heliotérmica) e para geração de calor (energia solar térmica) para aquecimento de fluidos. A energia solar fotovoltaica possui elevado potencial em praticamente todo o território nacional, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, devido aos culminantes índices de incidência da radiação solar em diversos dos estados brasileiros e, com isso, estabelecendo-se uma extraordinária fonte de eletricidade limpa e renovável.

Segundo Alves (2016), quanto à energia solar fotovoltaica, em geral denominada de energia solar fotovoltaica (FV), apresenta-se a conversão de energia a partir do efeito fotovoltaico, transformando-se inteiramente a luz capturada do sol em energia elétrica. A captação da luz solar é alcançada a partir das placas fotovoltaicas instaladas nas fachadas, telhados ou coberturas das instalações que cometerão uso da eletricidade produzida.

Conforme Pena (2019), pode-se considerar a energia solar como uma forma limpa de produzir energia. Não quer dizer que ela não gere impactos, mas não emitem poluentes nem resíduos na atmosfera. Desta forma, a sua utilização tem uma pequena emissão de gases na atmosfera por outras fontes de energia.

De acordo com Pena (2019) outro fato é que o calor do sol está disponível gratuitamente, ou seja, não necessitará de controle algum em casos de utilização. Assim, as pessoas não desenvolverão nenhuma forma de intervir, e sim uma maneira melhor de captar a luz que o Sol emite. Não são necessários grandes espaços ou algum tipo de desflorestamentos muito menos, grandes usinas solares.

Bezerra (2017) ressalta que os sistemas de energia fotovoltaica são apropriados para capturar a luz solar de maneira direta e causar corrente elétrica por meio de painéis solares fotovoltaicos. Tal corrente é gerida por controladores de carga e conversores, e pode ser retida em baterias ou interligada diretamente à rede elétrica.

De acordo com Bezerra (2017), na modalidade de energia solar fotovoltaica, a geração de energia elétrica causada por meio da luz solar é fundamentada no efeito fotovoltaico, composto de um acontecimento físico que por sua vez admite a conversão direta da luz solar em eletricidade. Sistemas fotovoltaicos capturam a radiação por meio de células solares, gerando o aparecimento de uma diferença de tensão responsável por causar fluxo de elétrons em seu interior gerando, com isso, o aparecimento de corrente elétrica contínua. Tal processo abrange a transferência de fótons da radiação incidente para os elétrons contidos no material da célula fotovoltaica que é comumente composta de silício. A Figura 1 apresenta um modelo de painel solar fotovoltaico.

Figura 1 - Painel solar fotovoltaico

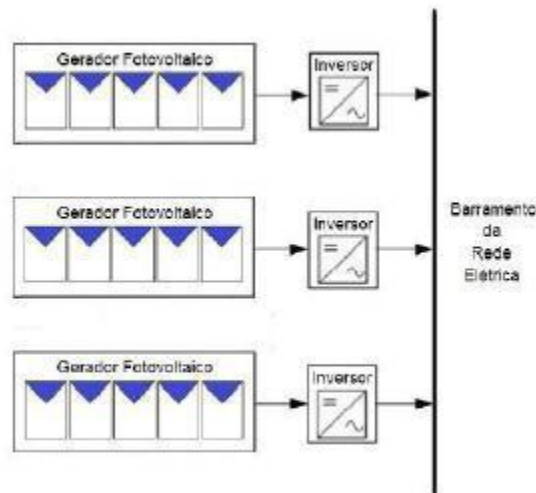


Fonte: Bezerra (2017, p. 20).

Nascimento (2017) afirma que a conversão direta da energia solar em energia elétrica deriva dos efeitos da radiação sobre alguns materiais semicondutores, destacando-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O efeito termoelétrico distingue-se pelo aparecimento de uma diferença de potencial incitada pela junção de dois metais em condições características. No que tange ao efeito fotovoltaico, encontrado em 1839 por Edmond Becquerel, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica através do emprego de células solares, o método mais comum de geração de energia elétrica a partir da energia solar.

A Figura 2 apresenta um exemplo de sistema solar fotovoltaico conectado à rede pública.

Figura 2 - Sistema solar fotovoltaico conectado à rede pública



Fonte: Bezerra (2017, p. 23).

Diante do exposto, entende-se que a energia fotovoltaica se trata de um tipo de energia que é gerada através do convertimento direto da radiação solar em eletricidade, cuja origem é da absorção da luz solar, gerando uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. A célula fotovoltaica não possui energia elétrica, uma vez que apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto existir.

## 2.2 Funcionamento da energia solar fotovoltaica

### 2.2.1 O princípio de funcionamento da energia solar fotovoltaica

Segundo Fadigas (2018), a energia solar pode ser transformada diretamente em eletricidade empregando-se das tecnologias de células fotovoltaicas. Sua tendência é de uma tecnologia do futuro, uma vez que se aproveita uma fonte limpa e inesgotável que é o sol

Conforme Figueira (2014), o sol aprovisiona energia no formato de radiação e de calor e as duas formas podem ser transformadas em energia elétrica, sendo a primeira por meio de um sistema fotovoltaico e a segunda por meio de um sistema solar-térmico. No caso das células solares ou fotovoltaicas, tratam-se de elementos responsáveis pela modificação da energia solar em energia elétrica,

as quais empregam as propriedades dos materiais semicondutores, sendo, em sua maioria, o Silício.

Segundo Camargo (2017), o efeito fotovoltaico se trata de um acontecimento físico que consente a conversão direta da luz em eletricidade. Tal fato acontece quando a luz ou a radiação eletromagnética do sol advém sobre uma célula composta de materiais semicondutores que se caracterizam pela exposição de bandas de energia em que é aceita a presença de elétrons, ou seja, banda de valência e de outra completamente vazia, ou seja, a banda de condução.

Conforme Souza (2016), o efeito fotovoltaico, analisado por Edmond Becquerel no ano de 1839, incide na manifestação de uma diferença de potencial nos extremos de um semicondutor, quando esse absorve a luz visível. Fadigas (2016) relata sobre o conhecimento do efeito fotovoltaico, o qual teve sua origem no século XIX, ou seja, iniciou-se no ano de 1839, o que demonstra que o efeito fotovoltaico já era de conhecimento desde então, conforme demonstrado o histórico no Quadro 1.

Quadro 1 - Histórico do conhecimento do efeito fotovoltaico

1839	Becquerel demonstrou a possibilidade de conversão da radiação luminosa em energia elétrica mediante a incidência de luz em um eletrodo mergulhado em uma solução de eletrólito.
1877	Esse mesmo efeito é observado num sólido, o selênio por Adams e Day na Inglaterra.
1883	Aparece a primeira célula solar produzida com selênio, com eficiência de conversão de aproximadamente 1%.
Década de 30	Os trabalhos de diversos pioneiros da física do estado sólido, como Lange, Grondahl e Schottkl, apresentaram importantes contribuições para se obter uma clara compreensão do efeito fotovoltaico em junção do estado sólido.
1941	Em Ohl obtém a primeira fotocélula de silício monocristalino.
1949	Billing e Plessnar medem a eficiência de fotocélulas de silício cristalino, ao mesmo tempo em que a teoria da junção P-N de Shockely é divulgada.
1954	E, porém, apenas neste ano que surge a fotocélula de silício com as características semelhantes às encontradas hoje com eficiência de 6%.
1958	Marca o início, com grande sucesso, da utilização de fotocélulas nos programas espaciais, sendo este o principal uso das células solares até o final da década de 70.
1973/1974	Grande impulso foi dado à utilização terrestre da geração fotovoltaica a partir da crise mundial de energia.
Final da década de 70	O uso terrestre supera o uso espacial, sendo que esta diferença tem aumentado grandemente.

Fonte: Fadigas (2018, p. 23).

Ovelha (2017) ressalta que os sistemas de energia solar fotovoltaica se baseiam em sistemas apropriados de converter a energia solar em potência elétrica para manter os demais equipamentos empregados, tanto em habitações quanto em

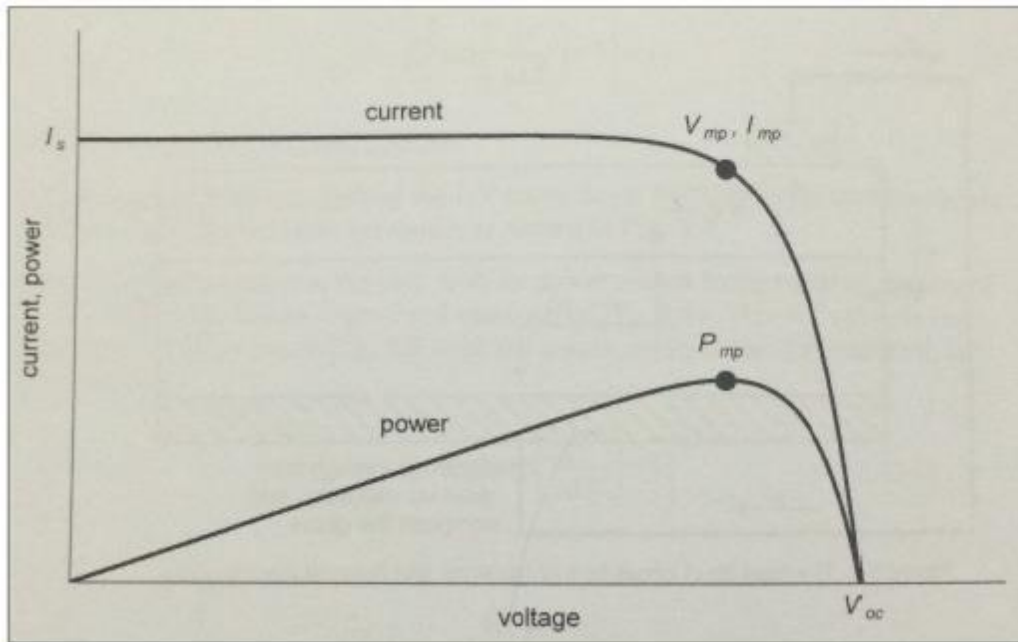
empresas. Trata-se das melhores maneiras de resolver os problemas como reprimir as implicações do aquecimento global, diminuir a dependência de combustíveis fósseis e suavizar o impacto econômico do aumento dos custos do petróleo. É a utilização de recursos de energia renovável. Com isso, os sistemas de energia solar fotovoltaica exercem um desempenho fundamental na geração de eletricidade. Realmente, constata-se um dos maiores desenvolvimentos de emprego desta tecnologia para geração de eletricidade na área das energias renováveis e acredita-se que seja uma tendência expansionista para o futuro.

Almeida et al. (2015) conceituam a energia solar fotovoltaica como a energia originada por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Tal situação ocorre por meio de um dispositivo popular como célula fotovoltaica que age empregando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico.

Conforme Almeida et al. (2015), a decorrência fotovoltaica é causada por meio da absorção da luz solar, a qual gera uma diferença de potencialidade na composição do material semicondutor. Uma célula fotovoltaica não contém energia elétrica. Somente conserva um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto existir incidência de luz sobre ela cujo acontecimento é designado como efeito fotovoltaico.

De acordo com Almeida et al. (2015), o silício (Si) se trata do fundamental material na fabricação das células fotovoltaicas (FV). O silício se institui como o segundo componente químico mais farto na terra e que tem sido cultivado sob diferentes maneiras: cristalino, policristalino e amorfo. Na Figura 3, Almeida et al. (2015) apresentam uma reprodução característica de uma curva de corrente-tensão, a qual é típica do comportamento da célula.

Figura 3 - Curva típica do comportamento da célula



Fonte: Wenham et al. (2009 apud ALMEIDA et al., 2015, p. 3).

Almeida et al. (2015) afirmam que são três tecnologias aplicadas para a fabricação de células FV, distribuídas em três gerações conforme seu material e suas particularidades, sendo essas a primeira, segunda e terceira geração, conforme apresentado no Quadro 2.

#### Quadro 2 - Gerações das tecnologias da fabricação de células FV segundo materiais

- A primeira geração é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança;
- A segunda geração, também chamada de filmes finos, é dividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe).
- A terceira geração, é definida pelo IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos como: células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade.
- Por fim, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, têm-se as células orgânicas ou poliméricas.

Fonte: Adaptado pelos autores de Almeida et al. (2015, p. 3).

Almeida et al. (2015) cita sobre três tipos de tecnologias aplicadas para a produção de células FV, as quais são qualificadas em três gerações, conforme o material e suas particularidades sendo estes o silício cristalino, filmes finos e células orgânicas, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Gerações das tecnologias da fabricação de células FV segundo materiais

Gerações		
Silício cristalino (c-Si)	Módulo fotovoltaico silício monocristalino (m-Si)	A maioria dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino, também denominados de células, são obtidos a partir de fatias de um único grande cristal, mergulhados em silício fundido. Neste processo, o cristal recebe pequenas quantidades de boro formando um semicondutor dopado do tipo "p". A esse semicondutor, após seu corte, é introduzido impurezas do tipo "n", expostas a vapor de fósforo em fornos com altas temperaturas, garantindo confiabilidade e eficiência aos produtos.
	Módulo fotovoltaico silício policristalino (p-Si)	A eficiência do módulo fotovoltaico p-Si é menor que a do silício monocristalino, mesmo sendo fabricados pelo mesmo material. Isto, pois, ao invés de ser formado por um único cristal, é fundido e solidificado, resultando em um bloco com grandes quantidades de grãos ou cristais, concentrando maior número de defeitos. Em função destes, o seu custo é mais baixo quando comparados às células monocristalinas.
Filmes finos	Diversos estudos elaborados nesta área têm direcionado a fabricação dos filmes finos a utilizarem diferentes materiais semicondutores e técnicas de deposição. Por exemplo, em camadas finas de materiais silício e outros, sob uma base que pode ser rígida ou flexível. Entre os materiais mais estudados estão o silício amorfo (a-Si). Em comparação às demais tecnologias fotovoltaicas, os filmes finos apresentam a grande vantagem de consumir menos matéria prima e menos energia em sua fabricação, tomando muito baixo o seu custo. Além disso, a reduzida complexidade na fabricação torna mais simples os processos automatizados, favorecendo sua produção em grande escala. Apesar dessa vantagem, "convertem fótons em elétrons de forma menos eficiente do que as células de cristais únicos de silício".	
Células orgânicas	As células orgânicas ou poliméricas representam a mais recente das tecnologias fotovoltaicas, estando, ainda, em fase de pesquisa e desenvolvimento, teste e produção em pequena escala. Esta tecnologia baseia-se na utilização de um semicondutor orgânico, o qual é responsável pela absorção de luz, geração, separação e transporte de cargas. Alguns destes dispositivos são produzidos pela mistura de um polímero condutor e um derivado de fulereno. As células orgânicas podem ser consideradas uma alternativa promissora para a conversão de energia solar a baixo custo.	

Fonte: Almeida et al. (2015, p. 4) Adaptado pelos autores de.

De acordo com Figueira (2014), os painéis solares são interligados uns aos outros, e saem dois cabos condutores ligados em série, todas as placas comunicam entre si, são cabos de corrente contínua são ligadas em um inversor solar, que é responsável pela conversão de energia solar por elétrica.

Segundo Almeida et al. (2015), são diversos os modelos de módulos solares produzidos, podendo ser rígidos ou flexíveis, conforme o tipo de célula utilizada.

Dentre os componentes de um sistema fotovoltaico, segundo Figueira (2014), pode-se citar, conforme apresentado no Quadro 4.

#### Quadro 4 - Componentes dos sistemas fotovoltaicos

- Painéis Solares: São responsáveis por transformar energia solar em eletricidade.
- Controladores de Carga: Servem para evitar sobrecargas ou descargas exageradas na bateria, aumentando sua vida útil e desempenho.
- Inversores: São responsáveis por transformar os 12V de corrente contínua (CC) das baterias em 110V ou 220V de corrente alternada (CA), ou outras tensões desejadas. No caso de sistemas conectados, também são responsáveis pela sincronia com a rede.
- Baterias: Armazem energia para que o sistema funcione mesmo sem a presença de sol.

Fonte: Figueira (2014, p. 9).

Segundo Souza (2016), um sistema fotovoltaico se trata de uma fonte de potência elétrica, em que as células fotovoltaicas transformam a radiação solar inteiramente em energia elétrica. Esses sistemas podem ser inseridos em qualquer local que exista radiação solar suficiente. Os sistemas fotovoltaicos não usam combustíveis, não têm partes móveis, e por serem dispositivos de estado sólido, demandam menor manutenção. No decorrer do seu funcionamento não causam ruído acústico ou eletromagnético, e não lançam gases tóxicos ou outro tipo de poluição ambiental. A credibilidade dos sistemas fotovoltaicos é tão elevada, que são utilizados em localidades inóspitas como: espaço, desertos, selvas, regiões remotas etc.

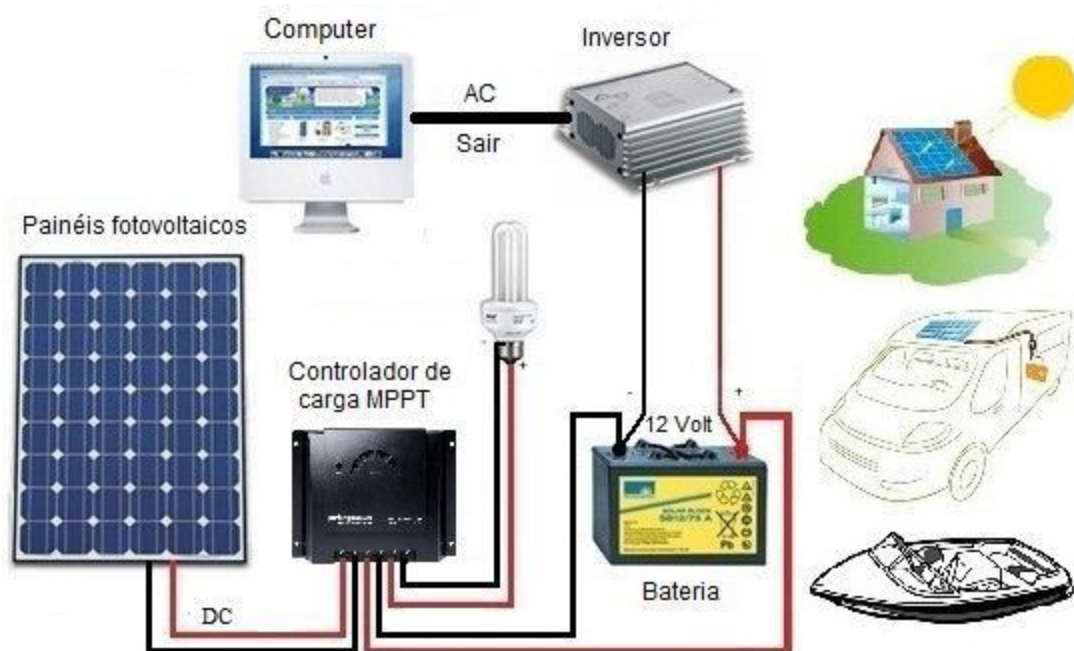
Segundo Fadigas (2018), os painéis solares fotovoltaicos têm o seu princípio de funcionamento da seguinte forma, todos sabem de certa forma que é através da luz solar que atinge os painéis fotovoltaicos de forma direta e assim acabam produzindo a energia elétrica, existe um componente nos painéis que é muito importante para que a energia solar produza energia elétrica, o componente que é chamado de silício (Si), que são células fotovoltaicas que são átomos carregados de elétrons, assim com esta combinação os mesmos se interagem e acontece de certa forma a química entre ambas as partes e a geração de energia elétrica é produzida.

Almeida et al. (2015) afirmam que os painéis solares ou módulos, consistem nos fundamentais elementos do sistema fotovoltaico de geração de energia, os quais são constituídos por um conjunto de células fotovoltaicas conexas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes verificadas em projeto. O conjunto destes módulos é denominado de gerador fotovoltaico e instituem a primeira parte do sistema, isto é, são os responsáveis no método de captação da irradiação solar e a sua modificação em energia elétrica. O esquema



demonstrado na Figura 4 abaixo simula um diagrama elétrico de um sistema fotovoltaico.

Figura 4 - Diagrama elétrico fotovoltaico sistema on grid



Fonte: Almeida et al. (2015, p. 6).

Conforme Souza (2016), um sistema fotovoltaico isolado não possui contato com a rede de distribuição de eletricidade das concessionárias e podem ser classificados em híbridos ou autônomos (puros). Os sistemas autônomos podem ser com ou sem armazenamento elétrico. Um sistema fotovoltaico híbrido trabalha em conjunto com outro sistema de geração elétrica, que pode ser um aerogerador, ou seja, um sistema híbrido solar-eólico, um moto-gerador a combustível líquido, como o diesel, ou qualquer outro sistema de geração elétrica. Pode ou não ter sistema de armazenamento de energia e, quando o tem, normalmente o sistema de armazenamento possui autonomia menor ou igual a um dia.

Almeida et al. (2015) cita sobre três tipos de sistemas fotovoltaicos: sistemas autônomos ou isolado (off grid), sistemas ligados à rede (on grid) e sistemas híbridos. Estes são explicados conforme o Quadro 5.

### Quadro 5 - Sistemas fotovoltaicos

Sistemas autônomos ou isolado ( <i>OFF GRID</i> )	São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis. Enquanto o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia. A composição e funcionamento do sistema autônomo para a iluminação pública, por exemplo, poderia ser feita por: um painel fotovoltaico (PV), responsável por carregar as baterias durante o período diurno através de um conversor CC-CC. Durante a noite, as baterias fornecem energia para os equipamentos que fornecem intensidade luminosa.
Sistemas ligados à rede ( <i>ON GRID</i> )	São aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica.
Sistemas híbridos	A associação de sistemas fotovoltaicos com demais fontes de energia fundamenta-se no sistema híbrido. O seu maior benefício é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma, geração. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos.

Fonte: Almeida et al. (2015, p. 7).

No caso de sistemas autônomos ou puros, segundo Souza (2016), se trata do sistema que não possui outra forma de geração de eletricidade. Por causa do fato de o sistema só gerar eletricidade nas horas de sol, os sistemas autônomos são dotados de acumuladores que contêm a energia para as ocasiões sem sol, o que ocorre todas as noites, e do mesmo modo nos momentos chuvosos ou nublados. Os acumuladores são dimensionados conforme à autonomia que o sistema deve ter, o qual transforma segundo às condições climatológicas do local onde será implantado o sistema fotovoltaico.

Tem-se ainda, de acordo com Souza (2016), os sistemas autônomos sem armazenamento se tratam e sistemas que trabalham apenas no decorrer das horas de sol. Um exemplo são os sistemas de bombeamento de água, cujas particularidades das bombas são medidas considerando-se a precisão de água e o potencial solar do local. O painel fotovoltaico é dimensionado para aprovisionar potencial para a bomba. Embora, geralmente, não usem sistemas de armazenamento elétrico, o armazenamento energético é efetuado na forma de água no reservatório.

### 2.2.2 Tipos de painéis fotovoltaicos

De acordo com Santos (2009), os filmes finos de silício são compostos por silício amorfo depositado num processo através de plasma. A camada do material é muito fina, comumente depositado sobre vidro, ou sobre plásticos e metais flexíveis (Figura 5), podendo ser empregado em superfícies curvas e do mesmo modo sobre telhas tipo shingle.

Figura 5 - Módulo flexível de silício amorfo



Fonte: Santos, 2009, p. 17.

Segundo Santos (2009), o silício do mesmo modo pode ser empregado de outra maneira nas células fotovoltaicas, como lâminas rígidas de silício mono ou policristalino (Figura 6). O silício monocristalino é adquirido a partir da fusão de silício de alta pureza, em que o monocristal é “crescido”. Tal processo decorre em células redondas, fatiadas a partir do monocristal cilíndrico. Pela complexidade tecnológica de cada fase o custo do produto além disso se torna maior. Os painéis de silício monocristalino no mercado apresentam eficácia em torno de 15%.

De acordo com Santos (2009), os painéis de silício policristalino são produzidos de maneira parecida ao monocristalino, mas o líquido de silício puro é inteiramente solidificado, derivando em diversos cristais. Por estas propriedades os painéis de p- Si apresentam eficácia um pouco menor que os de Silício monocristalino.

Figura 6 - Módulo de silício policristalino à esquerda e silício monocristalino à direita



Fonte: Santos, 2009, p. 18.

De acordo com informações da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) (2016), têm dois sistemas tecnológicos para produção de energia elétrica por fonte solar que são o heliotérmico, o qual usa superfícies refletoras para concentrar radiação solar direta em um receptor, sendo que em seu interior circula um fluido de trabalho que concretiza um ciclo termodinâmico para originar energia elétrica; e o fotovoltaico, no qual a alteração da radiação solar em eletricidade, através do efeito fotovoltaico, é direta e se dá nas células fotovoltaicas. Os módulos fotovoltaicos usam a radiação solar global para o método de conversão energética em eletricidade; no que diz respeito aos sistemas heliotérmicos, estes empregam apenas o componente direto de radiação solar e causam calor e energia exclusivamente em regiões com elevados índices de radiação solar direta.

A geração e calor, por aquecimento solar, para aquecimento de fluidos ocorre através de coletores ou concentradores solares, que são tanto captadores quanto armazenadores de energia. Os coletores solares são mais habituais em aplicações residenciais e comerciais para o aquecimento de água; quanto aos concentradores solares, estes designam-se a aplicações que demandam

temperaturas mais altas, como a secagem de grãos e a produção de vapor, além da utilização para geração de eletricidade (sistemas heliotérmicos). Tais sistemas tratam-se, na realidade, de micro-usinas, que são apropriados de produzir energia no mesmo local em que será empregada (FEAM, 2016).

O sistema de aquecimento solar é constituído fundamentalmente por placas de coletores solares, o boiler ou reservatório térmico, uma caixa de água fria e tubulação adequada. O coletor solar é um dispositivo onde se pode constatar a transmissão do calor através de três processos: condução, convecção e radiação. A energia solar que ocorre por radiação é absorvida pelas placas coletoras, que conduzem a parcela absorvida desta energia para a água, a qual circula no interior de suas tubulações de cobre, sendo que uma pequena parte é refletida para o ar que envolve a chapa. O coletor (Figura 7) será mais competente quanto maior for a quantidade de energia transmitida para a água (FEAM, 2016).

Figura 7 - Coletor Solar



Fonte: FEAM, 2016, p. 42.

A placa fotovoltaica é escura formada por silício, sua função é aspirar à energia do Sol e a transformar em calor (VILLALVA, 2015).

Outro tipo de placa é aquela que muda a energia solar diretamente em eletricidade. As placas são compostas de células solares, feitas de materiais semicondutores como o silício. São elas, as células fotovoltaicas. Com a radiação solar os fótons entram em contato com os átomos presente na placa, com este fenômeno gera uma DDP (tensão elétrica), com isso pode-se ter uma corrente elétrica capaz de carregar uma bateria (VILLALVA, 2015).

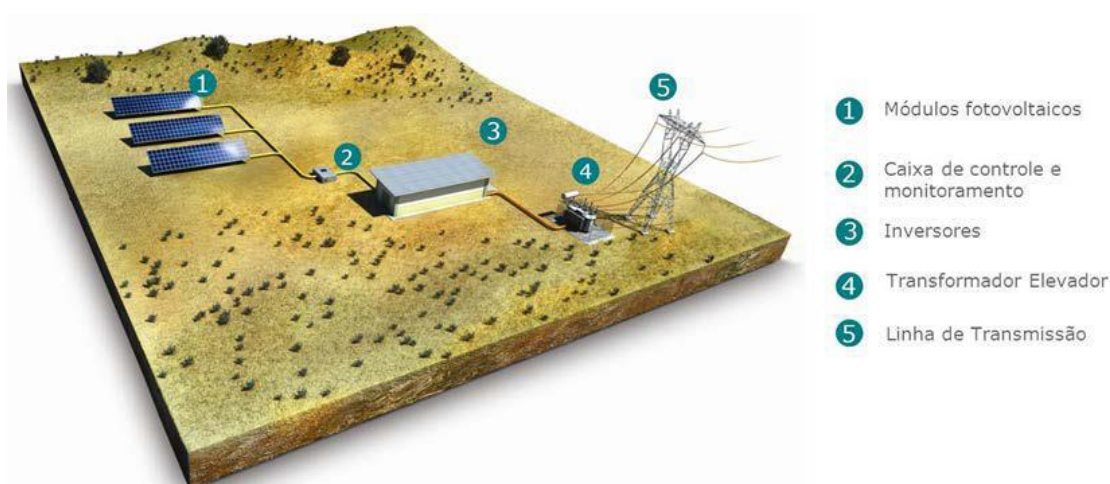
De acordo com informações da FEAM (2016), o boiler se trata de um recipiente termicamente isolado onde a água aquecida que será consumida é armazenada. Com isso, esse reservatório é conservado sempre cheio, sendo alimentado por uma caixa de água fria. São comumente feitos de aço inoxidável, cobre ou aço carbono, e podem ser horizontais ou verticais. Têm duas superfícies sendo uma interna e outra externa, separadas por um isolante térmico, geralmente composto por lã de vidro. O boiler divide-se em baixa e alta pressão. De baixa pressão são os considerados mais adequados para construções onde esse se encontra pouco abaixo da caixa de água fria, com no máximo 2 metros de desnível para os de cobre e 5 metros para os de aço inox, e os de alta pressão que são os mais adequados para sistemas pressurizados ou onde encontra-se muito abaixo da caixa de água fria, com no máximo 40 metros de desnível (FEAM, 2016).

O aquecedor solar, além da economia na conta de luz, causa o melhoramento de reduzir o impacto na destruição do meio ambiente. Durante um ano, cada metro quadrado de coletor solar instalado equivale a 215 kg de lenha ou 766 litros de diesel, ou ainda 55 kg de gás. Além da probabilidade de elevação da oferta de energia, a utilização de coletores solares acarreta benfeitorias para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que impedem o consumo de energia do *grid* nacional, o qual apresenta emissões conexas à geração termelétrica. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) avaliou que em torno de 30% das emissões de CO<sub>2</sub> das edificações, projetadas para 2020, poderiam ser amenizadas universalmente de maneira econômica eficiente, adaptando projetos ao clima local e com introdução de tecnologias de aproveitamento da energia solar, como sistemas de aquecimento solar (FEAM, 2016).

Conforme Beigelman (2013), o princípio de funcionamento da energia solar fotovoltaica depende do emprego dos equipamentos organizados na Figura 4, de maneira que a corrente contínua originada a partir da luz solar e apreendida pelos módulos fotovoltaicos seja conduzida para os inversores que a transformam em corrente alternada e a induzem a um transformador para a ascensão da tensão e transmissão da potência gerada.

Santos (2009) descreve que são diversas as tecnologias fotovoltaicas existentes, mas as tecnologias de silício merecem destaque: silício amorfo (a-Si) (Figura 8) e silício policristalino (p-Si) (Figura 9), os quais se tratam de tecnologias mais empregadas, concomitantemente.

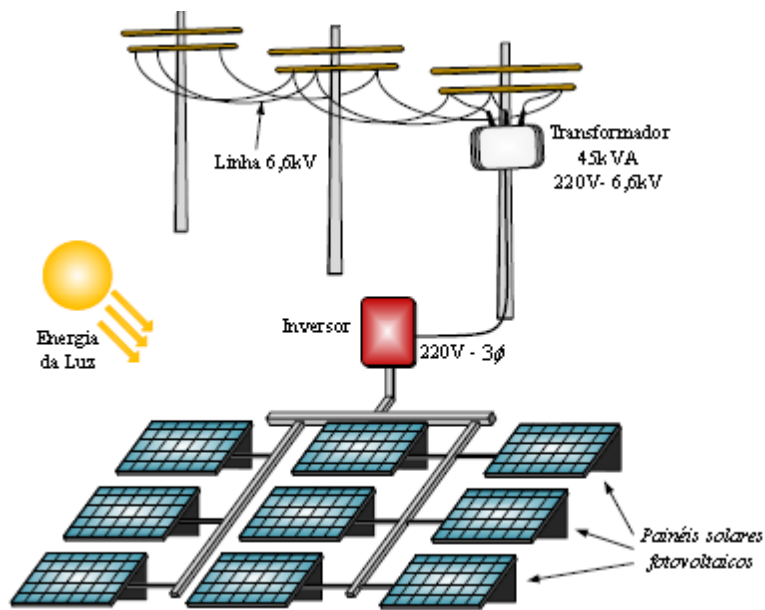
Figura 8 - Princípio de funcionamento da energia solar fotovoltaica e principais equipamentos utilizados



Fonte: Beigelman (2013, p. 26).

Almeida (2011) apresenta um exemplo de princípio de funcionamento por meio de um diagrama esquemático de um laboratório solar fotovoltaico, o qual foi instalado na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), cuja planta possui o princípio de funcionamento que segue os parâmetros: a energia derivada da luz do sol é transformada em eletricidade pelos painéis solares fotovoltaicos que nutre o barramento CC do inversor, o qual processa e acondiciona a eletricidade originada pelos painéis, isto é, transforma tensões e correntes CC em tensões e correntes CA sincronizadas com as tensões da rede elétrica da concessionária.

Figura 9 - Diagrama esquemático do Laboratório Solar Fotovoltaico da UFJF



Fonte: Almeida, 2011, p. 4.

De acordo com Almeida (2011), além de monitorar os parâmetros de operação como tensão, frequência e o ilhamento, descontinuando a operação do conversor e isolando o SGD da rede elétrica se esses parâmetros se encontrarem fora dos perímetros habituais de operação ou se acontecer um ilhamento. As tensões de saída do conversor nutrem o lado de baixa do transformador (220V) que ergue a mesma aos níveis de tensão do sistema interno de distribuição da UFJF (6,6kV). Com isso, a energia transformada pelos arranjos fotovoltaicos pode manter qualquer carga no interior da universidade, provendo parcialmente o processo de energia elétrica do campus.

### **2.2.3 Apresentação de alguns tipos de equipamentos para a habilitação e utilização de energia fornecida pelo sistema solar**

Nascimento (2017) afirma que entre os materiais mais apropriados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são comumente denominados de células solares ou fotovoltaicas, sobressai-se o silício. Em torno de 80% das células fotovoltaicas são produzidas a partir do silício cristalino.

No Quadro 6, são apresentados três tipos de equipamentos auxiliares para o funcionamento de um sistema fotovoltaico como os controladores de carga, bateras e os inversores, segundo informações de Almeida *et al* (2015):



Quadro 6 - Equipamentos auxiliares para o sistema fotovoltaico

Controladores de carga	Também chamado de regulador de carga, este componente é, geralmente, utilizado em sistemas off grid, ou seja, que empregam o uso de baterias para o armazenamento de energia. Os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência. A finalidade deste equipamento ao afirmar que, ajustados corretamente, irão garantir o bom desempenho do sistema de baterias sob várias condições (carga, descarga e variações de temperatura). O princípio de funcionamento, da proteção da bateria através dos controladores de carga, consiste em impedir que ela sofra sobrecarga de tensão e prevenir que ela seja completamente descarregada. Ambas as situações acarretam desgaste e, conseqüentemente, diminuição da vida útil da bateria, por isso devem ser controladas.
Baterias	As baterias, ou acumuladores, entre os diversos sistemas, são mais utilizadas naqueles isolados da rede elétrica, ou seja, off grid. São dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar. Com isso, podem ser consideradas de extrema importância, já que a radiação solar não ocorre nos períodos noturnos, e é reduzida em dias nublados. Existem outros equipamentos capazes de realizar a função de armazenamento da energia, porém, a bateria ainda é utilizada em maior escala, devido à sua eficiência de funcionamento. A mesma é definida como: um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução que ocorre em seu interior. São vários os tipos de baterias existentes, distinguindo-se devido às células empregadas, as quais influenciam diretamente na eficiência de armazenamento. Considerando o fato de que nem todos os modelos são economicamente viáveis, como as baterias de chumbo-ácido como o tipo, até hoje, mais utilizado para os sistemas fotovoltaicos. A bateria para aplicações FV deve apresentar como principais características: capacidade de ciclagem, alta eficiência energética, longa vida útil, pouca manutenção e baixo custo.
Inversores	Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua. A energia elétrica na saída dos módulos fotovoltaicos é em corrente contínua (CC). Isto inviabiliza a sua aplicação direta na maioria dos equipamentos que trabalham, somente, em corrente alternada (CA). Para a solução deste problema, empregam-se os inversores, capazes de realizar a conversão desta tensão contínua para um valor de tensão em CA. Além disso, este equipamento é capaz de ajustar a frequência e nível de tensão gerada, para que o sistema possa ser conectado à rede pública, <i>on grid</i> , de acordo com as normas vigentes estabelecidas pela Aneel. Para selecionar o inversor adequado a ser utilizado em um sistema fotovoltaico, os requisitos a serem analisados são: a forma de onda da carga e a eficiência do próprio inversor.

Fonte: Adaptado pelos autores de Almeida *et al.* (2015, p. 8).

De acordo com Alves (2016), os sistemas fotovoltaicos são qualificados por empregarem dispositivos controladores (controlador de carga) e conversores (*choppers*, inversores etc.), podendo além disso usar baterias ou estar interligados diretamente a rede elétrica. Conforme Alves (2016), a incidência de fótons na superfície das células FV's gera a absorção deles por parte das células, estimulando os elétrons do material semicondutor. Ao ser instituída uma diferença de potencial entre as camadas de material semicondutor que compõem a célula FV os elétrons estimulados na fase anterior incidem a se deslocar de forma sistemática constituindo uma corrente elétrica. A quantidade de elétrons

em movimento será adequada a intensidade da luz incidente e absorvida pelas células FV.

Almeida *et al.* (2015) afirmam que, para o funcionamento de um sistema fotovoltaico é indispensável a disposição de equipamentos auxiliares em conjunto com os módulos, cujos elementos operarão, especialmente, no processo de armazenamento e distribuição da energia elétrica originada, sendo distinguidos conforme o tipo de sistema implantado, se *on grid* ou *off grid*.

### **2.3 Dificuldades de expansão da energia solar fotovoltaica no país**

Ramos *et al.* (2018) afirmam que a fonte fotovoltaica é a que mais desenvolve em potência e a que mais ganha investimentos no setor de energia elétrica no mundo. Com a diminuição dos preços e maior competitividade da geração fotovoltaica, a dinâmica de mercado tem se transformado e mais mercados estão se abrindo para a energia solar fotovoltaica, de modo inclusivo o Brasil. A diminuição do custo da energia solar fotovoltaica é uma intenção global, que acompanhará, até mesmo em longo prazo, não só para geração centralizada, mas do mesmo modo para geração distribuída. Com isso, virando a energia solar fotovoltaica uma das fundamentais fontes de energia elétrica integralmente, além de uma das mais competitivas no Brasil e no mundo.

De acordo com Ramos *et al.* (2018), no Brasil, a intenção de propagação de pequenos e médios instaladores/integradores solares é claro, uma vez que já são mais de 1.000 empresas instaladoras e integradoras de sistemas fotovoltaicos para menos de 7.500 instalações. Tal intenção deve se sustentar em curto e médio prazo, devido à baixa barreira de entrada nessa atividade da cadeia de valor da energia solar fotovoltaica. Uma implicação dessa propagação de integradores solares é uma grande concorrência da oferta de sistemas fotovoltaicos para clientes finais que, diante disso, poderá levar à concretização de determinados integradores de qualidade e sucesso e à descontinuidade dos menos competitivos.

Segundo Ramos *et al.* (2018), embora a tecnologia fotovoltaica ser madura, com mais de 50 anos de desenvolvimento e fornecedores proporcionarem segurança sobre a capacidade de geração mínima dos módulos por até 20 anos, ou seja,

muito acima da maior parte dos produtos no mundo, a tecnologia além disso é relativamente pouco popular no Brasil. Tem-se ainda que, embora seja muito próspero, o mercado solar fotovoltaico no Brasil, no que diz respeito à potência instalada, seguirá relativamente pequeno nos próximos 5 a 7 anos.

Na visão de Ramos *et al.* (2018), a dimensão do mercado doméstico brasileiro de energia solar fotovoltaica diante do mercado mundial, levando-se em consideração que foram instalados em 2016 em torno de 70 GWac de novos projetos solares fotovoltaicos em todo o mundo, porém, o Brasil, com seus 1,16 GWac para 2017 representou em cerca de 1,6% do mercado global. O fator tamanho de mercado então levanta a questão de que a demanda doméstica por projetos solares fotovoltaicos em curto prazo não é satisfatória para explicar amplos investimentos no Brasil em atividades de valor que demandam maior escala para serem competitivos no mercado global, no que tange às atividades de valor, assim como fabricação de células, EVA, silício grau solar, *backsheet* e lâmina de silício. Com isso, para que seja de maneira econômica justificável fazer tais investimentos no curto prazo no Brasil, significaria imprescindível que o país fosse mais competitivo que os países líderes em custo de produção desses bens, de maneira a empreender no mercado de exportação.

De acordo com Almeida *et al.* (2015), embora ainda proporcionar precisão de incentivos econômicos para se popularizar, o sistema fotovoltaico já é empregado em ampla escala e em projetos pontuais, como no sistema de iluminação pública. No que diz respeito à fabricação dos painéis, torna-se importante destacar que a produção dos módulos solares tem passado por ampla intervenção governamental a partir de incentivos fiscais e ambientais. Diante disso, o avanço da produção destes componentes tem diminuído os custos para a concretização do sistema. A elevada incidência de radiação solar influente no território brasileiro, é a causa pela qual a tecnologia progride e os incentivos aumentam.

Conforme Fadigas (2018), a energia fotovoltaica somente encontra viabilidade econômica em aplicações de pequeno porte em sistemas rurais isolados como, por exemplo, iluminação, bombeamento de água etc., serviços profissionais como no uso de retransmissores de sinais, aplicações marítimas e produtos de

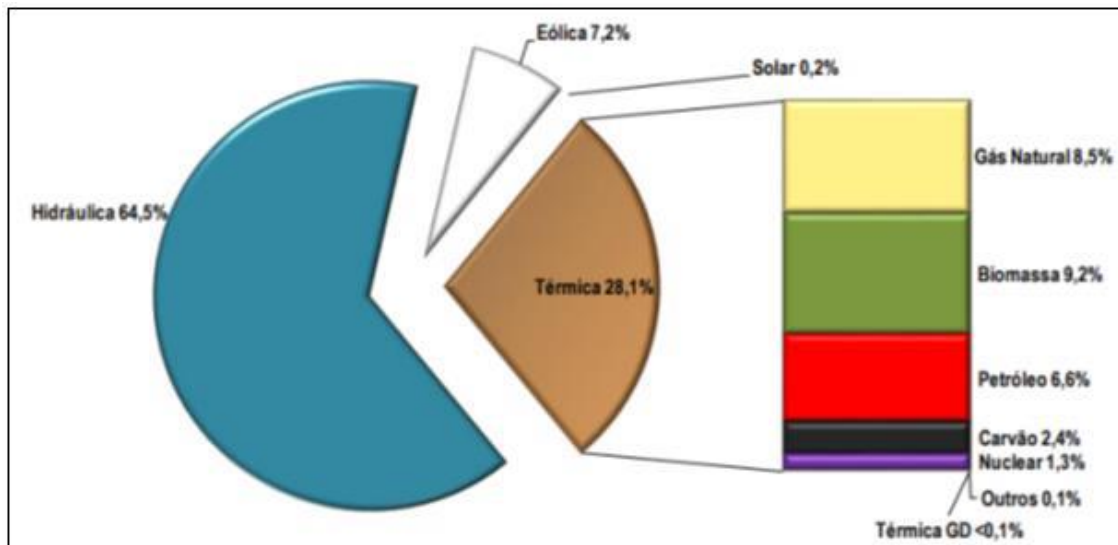
consumo como, por exemplo, relógio, calculadoras. Sabe-se que o mercado fotovoltaico é além disso uma fração do que poderia ser, uma vez que existe uma parcela expressiva da população mundial, em torno de 1 bilhão de habitantes ou perto de 20% da população mundial, situadas especialmente nas áreas rurais, que não apresentam ingresso a eletricidade.

Fadigas (2018) relata que investigações efetuadas nos últimos 10 anos, derivando em ampliação da eficácia dos módulos e redução considerável nos custos de produção, marcam com sinais boas probabilidades futuras, até mesmo para aplicações de maior porte. Este futuro está sujeito do mesmo modo do acréscimo das pressões mundiais para o emprego de fontes energéticas renováveis e limpas e o prosseguimento da linha de pensamento governamental dos países industrializados que visam uma diversificação das fontes de suprimento energético.

Ramos *et al.* (2018) afirmam que ainda há 10 atividades de valor da cadeia de bens do segmento solar que não estão presentes no país. São elas: fabricação de silício grau solar, gases de processamento, vidro grau solar, lingote e lâmina de silício, célula fotovoltaica de silício cristalino, substrato de filme fino, composto de filme fino, *backsheet*, caixa de junção, e filme encapsulante/EVA. As lacunas de competitividade e gargalos produtivos são muitas, conforme será discutido nesta seção. Parte delas (tributação, acesso a financiamento, tamanho do mercado, risco cambial, dentre outras) atinge a cadeia de valor de forma transversal, ou seja, inclusive em atividades de valor da cadeia presentes no Brasil.

Segundo Camargo (2017), no Brasil, a energia solar representa abaixo de 1% da energia total produzida no país, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil sem importação contratada



Fonte: MME (2017 *apud* CAMARGO, 2017, p. 28).

Conforme Camargo (2017), embora haja baixa representatividade da energia solar na matriz energética brasileira, sistemas integrados à rede estão em crescente ampliação principalmente devido à aprovação da normativa 482/2012 da ANEEL no dia 17 de Abril de 2012, e alterada pelas Resoluções Normativas ANEEL n. 687/2015 e n. 786/2017, que admite aos consumidores instalar geradores de pequeno porte em suas unidades consumidoras e usar o sistema elétrico da Copel para injetar o excedente de energia, que estará transformado em crédito de energia apropriado por 60 meses. Créditos, estes, que serão consumidos em circunstâncias em que o sistema não causa energia satisfatória para atender a demanda do estabelecimento, como à noite ou em dias nebulosos.

Do ponto de vista do estudo de Ramos *et al.* (2018), o Brasil é pouco competitivo confrontado com o mercado internacional para bens os quais são produzidos em ampla escala, e tal fator impelida a competitividade do silício grau solar até a produção da célula fotovoltaica, assim como de produtos como filme *encapsulaste*, *backsheet* e tecnologias de filmes finos.

O Brasil, de acordo com Ramos *et al.* (2018), possui competitividade considerada como média para fabricação de bens como módulos fotovoltaicos, devido as regras e custos em moeda local de financiamento nacionais, as quais são vantajosas para produtos com conteúdo local, se confrontado com fontes de

financiamento nacionais em moeda local para produtos sem conteúdo local. Do mesmo modo o Brasil possui competitividade elevada em produtos que já são produzidos no país, contudo destinados a outros setores da economia, como molduras, estruturas metálicas e componentes elétricos e que, do mesmo modo, possuem ingresso a financiamento distinguido para esses produtos com conteúdo local.

No que diz respeito ao médio e longo prazo, segundo Ramos *et al.* (2018), com o crescimento da demanda do mercado, bens como vidro e outros componentes devem ficar mais competitivos localmente. Mesmo com uma escala maior presente no país, a escala imprescindível para alta competitividade desses produtos é escala global, e o Brasil não é um país em que a competitividade industrial é das mais competentes do mundo.

Conforme Ramos *et al.* (2018), entende-se que nos três panoramas temporais a maior fragilidade de competitividade do Brasil se encontra nas atividades de valor da cadeia de produção dos módulos fotovoltaicos. Para que essa deficiência de competitividade possa ser revertida, é necessário que o país promova uma demanda doméstica grande e periódica, explicando o investimento no país. O Brasil é um dos países mais populosos do mundo e possui potencialidade solar fotovoltaico extraordinária; deste modo, para que a competitividade possa ser alcançada são indispensáveis incentivos característicos para o segmento, especialmente concernentes à tributação, assim como da própria facilitação do sistema tributário.

Ramos *et al.* (2018) apresentam serão detalhadas 11 dentre as principais lacunas de competitividade e gargalos produtivos, conforme demonstrados no Quadro 7.

Quadro 7 - Principais lacunas de competitividade e gargalos produtivos do segmento solar

Acesso a financiamento	Acesso a financiamento é uma importante lacuna do segmento solar fotovoltaico, afetando, porém, toda a cadeia produtiva. Os dois principais desafios para os empreendedores de todas as atividades de valor da cadeia têm sido: (o atendimento das regras do Plano de Nacionalização Progressiva do BNDES para ter acesso a linhas com custos competitivos; e a disponibilidade de garantias para lastrear o financiamento. Esse tem sido um problema em especial no segmento de geração distribuída.
Complexidade tributária	Esta é uma relevante desvantagem competitiva para as empresas estabelecidas no Brasil, principalmente o segmento industrial, com faturamento anual acima de R\$ 78 milhões, ou seja, adeptos obrigatoriamente ao regime fiscal do lucro real.
Carga tributária	A carga tributária sobre a montagem de módulos no Brasil é maior que sobre a importação de módulos acabados. Portanto, um desincentivo econômico ao desenvolvimento da cadeia local. Tal falta de isonomia tributária se repete para outras atividades de valor da cadeia que não estão presentes no Brasil, a exemplo da fabricação de células fotovoltaicas.
Qualificação de mão de obra	A qualificação da mão de obra brasileira é uma lacuna de competitividade conhecida e de longa data. Produtividade e qualificação menores geram maiores custos e maior número de horas para realizar as mesmas tarefas. Consequentemente, impactando de forma negativa a competitividade de se produzir no Brasil não só bens, mas também serviços intensivos em mão de obra como obra civil (parte da atividade de valor EPC).
Tamanho do mercado	Este tem sido um dos grandes diferenciais competitivos das principais empresas atuantes na cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no mundo. Consequentemente, esta é uma das principais lacunas de competitividade para o desenvolvimento da cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil, principalmente para a produção de bens.
Infraestrutura logística	Trata-se de um grande gargalo produtivo, seja impactando o custo e o prazo do recebimento de insumos (nacionais ou importados), seja na distribuição nacional ou exportação dos bens acabados. Para o segmento de geração centralizada há um gargalo adicional e crítico: a limitação de redes de transmissão para escoamento da energia elétrica.
Licenciamento e autorizações	No caso de geração centralizada, foi apurado nas entrevistas que empresários/executivos, quando da implantação de suas instalações fabris ou mesmo de fazendas solares, encontraram dificuldades nos processos de licenciamento pelo desconhecimento existente por parte dos órgãos reguladores da tecnologia solar fotovoltaica. Em geração distribuída, por sua vez, o maior desafio apontado por 69 dentre 190 instaladores entrevistados pelo Instituto Ideal tem sido o tempo de aprovação pelas distribuidoras do parecer de acesso das novas instalações.
Custo de capital em moeda local	De acordo com o ranking mundial de juros reais, englobando os 40 países mais relevantes no mercado de renda fixa mundial, o Brasil segue sendo o país com a maior taxa de juros reais do mundo.
Risco cambial	Para o Brasil, cuja cadeia de produção do módulo está em fase inicial de desenvolvimento e parte importante do investimento no sistema fotovoltaico é indexado à moeda estrangeira, a grande lacuna de competitividade do Brasil diante de outros países tem sido a volatilidade da taxa de câmbio, mais do que a discussão de que se a taxa está depreciada ou apreciada demais.
Risco regulatório	Uma das chaves para o crescimento sustentável do mercado solar fotovoltaico em qualquer país é um ambiente regulatório estável. Decisões regulatórias equivocadas ou abruptas podem impactar dramaticamente o desenvolvimento do segmento. O segmento solar brasileiro de geração centralizada, apesar de recente, já coleciona alguns casos de mudanças ou decisões regulatórias que têm prejudicado seu desenvolvimento. O caso mais recente foi o cancelamento dos dois leilões de energia de reserva agendados para 2016, o último deles decidido há poucos dias antes da data do leilão.
Informalidade da concorrência	O mercado informal no Brasil movimentou R\$ 983,283 bilhões em 2016, equivalente a 16,3% do PIB, alta de 0,1 ponto percentual sobre um ano antes. Para o empreendedor formal, investir em um segmento com informalidade e/ou com mão de obra informal é uma lacuna competitiva, pois ele não estará competindo em igualdade de condições do ponto de vista de custo de produção ou de prestação de serviços.

Fonte: Adaptado pelo autor de Ramos et al. (2018, p. 275).

Com aos serviços, conforme Ramos et al. (2018), o país é muito competitivo no desenvolvimento de projetos, geração de energia, entre outros serviços, entretanto possui competitividade média em atividades de valor, como organizações que operam como agentes financiadores, consultorias, integradores de sistemas, que encaram dificuldades como carga tributária e acesso a financiamento competitivo.

## 2.4 O custo-benefício da energia solar fotovoltaica em relação às outras fontes de energia

De acordo com Tiepolo e Canciglieri Jr. (2014), normalmente as fontes de energia empregadas para a geração de energia elétrica são originárias da hidroelétrica, nuclear, termoelétrica, eólica, geotérmica, fotovoltaica, e distintas fontes. Desses modelos citados, destaca-se a energia nuclear, por causa especialmente aos episódios no Japão com o vazamento de material radioativo da usina de Fukushima e de demais incidentes que já aconteceram ao longo das últimas décadas, fez com que determinados países revissem o seu planejamento energético prognosticando, a médio e longo prazo, a descontinuidade total ou parcial de investimentos na geração de energia elétrica por meio dessa fonte, corroborando a fragilidade desse sistema.

Segundo Tiepolo e Canciglieri Jr. (2014), no Brasil, também não existe uma posição clara no que diz respeito a futuros investimentos além daqueles já prevenidos em energia nuclear. Contudo, até os empreendimentos já antevistos são causa de ponderação por parte governo, devido aos elevados riscos complexos e as opções de geração por meio de fontes renováveis, que surgem se apresentando e se solidificando no panorama mundial, com custos cada vez menores.

Para Tiepolo e Canciglieri Jr. (2014) há acertado conformidade nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), no que diz respeito ao emprego de energias consideradas como “limpas”, ou renováveis e de baixo impacto ambiental como é o caso da energia eólica e a fotovoltaica. Para a implantação dessas fontes foram cedidos incentivos públicos que estimularam a concretização de investimentos maciços na última década. Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) proporcionam um novo conceito de geração de energia limpa e renovável e tem apontado desenvolvimento mundial superior ao dos Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFI).

Ramos et al. (2018) afirmam que as vantagens competitivas da energia solar fotovoltaica no Brasil abrangem (Quadro 8).



### Quadro 8 - Vantagens competitivas da energia solar fotovoltaica

- Irradiação excepcional e abundante em todo o território nacional;
- Crescimento da demanda por energia elétrica no país em médio e longo prazo;
- Tarifas elétricas crescentes para o consumidor final;
- Sinergia com a carga, pois no Brasil os maiores picos de utilização de energia elétrica são registrados em dias de intenso calor e, portanto, mais ensolarados;
- Complementaridade com a geração hidrelétrica, a qual depende dos níveis dos reservatórios determinados pelo volume de chuvas – períodos de maior escassez de chuvas coincidem com maior incidência de radiação solar;
- Fonte de financiamento competitiva para projetos com conteúdo local por meio do BNDES e Fundos Constitucionais de Financiamento;
- Regulação favorável para a geração distribuída, especialmente a REN 482 e a REN 687;
- Regulação favorável para a geração centralizada, especialmente a promoção de leilões solares regulares para contratação de energia solar fotovoltaica.

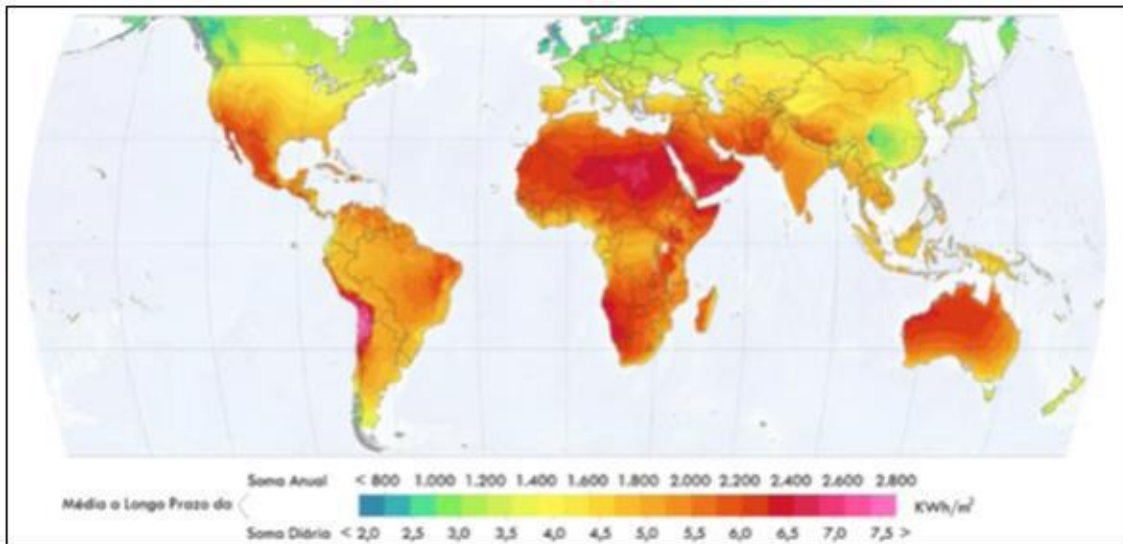
Fonte: Adaptado pelo autor de Ramos et al. (2018, p. 241).

No caso do Brasil, de acordo com Ramos et al. (2018), no que diz respeito à cadeia de bens, o país possui determinadas vantagens competitivas importantes para o estabelecimento de uma indústria fotovoltaica, que se baseiam em: possuir uma das maiores reservas mundiais de quartzo de qualidade, mineral em que o silício é extraído; possuir indústrias constituídas de beneficiamento do silício, ocupando o lugar de sexto maior produtor global de silício com 1,38%, ou seja, 100 milhões de toneladas em 2016, da produção global, apesar de que somente o grau metalúrgico, considerado como insuficiente para o emprego em aplicações solares; possuir tecnologia para a fabricação de células e módulos fotovoltaicos, embora que em escala-piloto, no que diz respeito às células fotovoltaicas e, pelo fato de o Brasil ser fabricante de alumínio e de vidro.

Conforme Ramos et al. (2018), segundo dados da Agência Internacional de Energia, do inglês International Energy Agency (IEA), a energia solar fotovoltaica poderá representar um terço da produção global de energia elétrica do mundo até o ano de 2060. Estudos assinalam que a energia solar fotovoltaica conceberá mais de 25% da matriz elétrica global no ano de 2040, portanto, em menos de 25 anos. Diante disso, a energia fotovoltaica tem a potencialidade para ser a maior fonte de eletricidade no mundo em longo prazo, por causa da fartura e à distribuição do recurso solar no planeta, à contínua minimização dos custos da tecnologia, ou seja, histórico e projeção, e os progressos em eficácia de materiais e conversão, sem contar com a tendência global em direção às fontes de energia limpas e sustentáveis e as mudanças climáticas.

Ramos et al. (2018) apresentam a Figura 11, a qual demonstra a disponibilidade e distribuição de radiação solar em todo o mundo em que se pode perceber as regiões que possuem maior potencial, assim como África, Austrália, Emirados Árabes, Irã, parte da China, parte dos Estados Unidos e, na América Latina, Chile, México, Brasil, Argentina, Bolívia, Peru, dentre outros.

Figura 11 - Radiação solar no plano horizontal, média anual e diária



Fonte: Ramos et al. (2018, p. 43).

Ramos et al. (2018) afirmam que no Brasil, por se tratar de um país tropical e ensolarado, tal potencial é além disso mais provável e viável. Segundo projeções da Bloomberg New Energy Finance (2016 apud RAMOS et al., 2018), a energia fotovoltaica conceberá em torno de 32% da matriz elétrica brasileira, incidindo da fonte com menor representatividade na matriz em 2016 para a fonte com a maior representatividade em 2040, com capacidade instalada entre 110 e 126 GWac.

Conforme dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPEs) (RAMOS et al., 2018), o Brasil oferece um extraordinário recurso solar, que varia entre 1.500 e 2.350 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Trata-se de um recurso bem disseminado ao redor do país, superior ao percebido em países como a Alemanha (900 a 1.250 kWh/m<sup>2</sup>/ano), a França (900 a 1.650 kWh/m<sup>2</sup>/ano) e também a Espanha (1.200 a 1.850 kWh/m<sup>2</sup>/ano). Os estados com maiores índices de radiação solar no Brasil são Bahia, Piauí, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Tocantins, Goiás, Minas Gerais e São Paulo.

Conforme Almeida et al. (2015), o Brasil, devido à sua ampla diversidade de recursos e por sua importante extensão territorial, proporciona distintas conveniências na diversificação de sua matriz energética. Isso é assegurado pela Resolução Normativa n. 482, de 17 de abril de 2012, a qual regulamenta a geração de energia através de placas solares fotovoltaicas. A elevada incidência de radiação solar influente no território brasileiro, é a causa pela qual a tecnologia progride e os incentivos alargam.

Almeida et al. (2015) descrevem que, de acordo com informações da empresa alemã German Solar Industry Association (2015), o panorama mundial de produção de energia por meio dos módulos solares fotovoltaicos, expõe que, anualmente, aceita-se obter uma capacidade instalada de 100 GW, além disso impedir a emissão de 70 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Evidenciam da mesma forma a ordem de grandeza que os projetos solares fotovoltaicos podem atingir conforme a tecnologia disponível.

Conforme Fadigas (2018), sob o aspecto da operação de sistemas fotovoltaicos, é claro que o impacto ambiental é muito menor do que os impactos ocasionados por fontes convencionais, uma vez que o recurso usado na produção de energia é renovável, não emite poluentes líquidos e gasosos e nem material radiativo. O emprego direto da energia solar é benéfico devido ao fato de que o equilíbrio térmico da Terra praticamente não é perturbado. A emissividade de geradores solares é um parâmetro aberto e está atrelado praticamente ao material de encapsulação dos painéis ou de espelhos solares, aproveitando distintas qualidades de plásticos, vidros e metais. Dessa forma, a emissividade poderia ser adaptada de maneira que o equilíbrio local ou total se conserva fundamentalmente sem alterações.

Para Fadigas (2018), o impacto ambiental que acontece no processo de fabricação das células do mesmo modo não é tão expressivo, fora no caso de um presumível acidente na fabricação delas. O material principal do qual 99% das células são feitas, o silício, não é intrinsecamente lesivo. Contudo, como qualquer outro processo químico, determinados cuidados devem ser adotados, visando garantir que produtos usados no processo de fabricação não infectem o ambiente local. Enfim, cuidados devem ser adotados do mesmo modo ao final

da vida útil dos módulos na fase de deposição ou reciclagem, principalmente no que diz respeito aos módulos contendo pequenas partículas de metais tóxicos, cuja finalidade é que esses conteúdos não sejam liberados para o meio ambiente.

Camargo (2017) afirma que a tecnologia fotovoltaica utiliza materiais semicondutores como o silício para transformar raios solares em eletricidade. O contínuo progresso desta técnica está adequando a ampliação da capacidade de abastecimento de energia elétrica no mundo todo, deixando que a energia solar fotovoltaica consista em uma alternativa limpa, renovável, viável e com manutenção mínima. A energia solar fotovoltaica é presentemente, após a hidráulica e eólica, a terceira mais extraordinária fonte de energia renovável em no que diz respeito à capacidade instalada no mundo.

De acordo com Ovelha (2017), a conexão da eletricidade originada por sistemas fotovoltaicos na rede pode induzir a problemas nas redes de distribuição de eletricidade, devido a sua imprevisibilidade horária e anual. Poderão acontecer ocasiões com excesso de produção elétrica, em particular nos dias de sol de verão, ou de deficiência de eletricidade devido ao consumo, uma vez que este recurso é variável e incontrolável. Tais questões poderão ser solucionadas com o desenvolvimento de sistemas apropriados de armazenamento de energia conexos ao fotovoltaico. Estes sistemas são adequados para autoconsumo, sendo a sua fundamental precedência atender a busca de energia local e, casualmente, alimentar a rede com qualquer excedente de energia produzido. Com isso, energia causada em excesso pode ser prontamente armazenada.

Conforme Ovelha (2017), o autoconsumo eleva a competição no mercado, a nível de preços do sistema solar, amparando na mudança dele, já que incita o surgimento de novos serviços que melhor se adaptem às precisões do consumidor. Diante disso, o consumidor torna-se ativo no cenário de transição energética, por meio dos continuados investimentos. Enfim, o emprego, tanto residencial quanto dos serviços, de energia solar para autoconsumo pode abastecer eletricidade de maneira econômica competitiva ao utilizador, resguardando-o da volatilidade dos preços da energia.

Ovelha (2017) relata que as Energias Renováveis (ER) se deparam já constituídas como fontes de energia reconhecidas no mercado energético mundial. A crescente melhora da analogia custo-benefício, o consecutivo financiamento, as constantes políticas de incentivo, a sua garantia e o crescimento de precisões energéticas globais têm sido constitucionais no rápido crescimento das tecnologias renováveis.

Segundo Ovelha (2017), em 2015, foram 195 países que se uniram para o Acordo de Paris (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (UNFCCC), em que a fundamental finalidade é garantir que o acréscimo da temperatura média global fique 2°C abaixo dos níveis pré-industriais. Para isso, a maior parte dos participantes empenhou-se a empregar as ER e acrescentar a eficácia energética nos diversos setores.

De acordo com Ovelha (2017), no decorrer desse ano foram instalados mundialmente cerca de 147 gigawatts (GW) de potência elétrica originária de ER (bem como à volta de 38 gigawatts térmicos - GWth). Dos 147 GW instalados, cerca de 77% dizem respeito a energia solar fotovoltaica (PV) e energia eólica - estes constataam, pelo segundo ano contínuo, recordes de novas instalações. É instalada mais potência originária de ER do que de todos os combustíveis fósseis combinados, o que leva a que já em torno de 23,7% de toda a eletricidade mundial seja nutrida por fontes de ER, boa parte de energia hídrica.

Ramos et al. (2018) afirmam que o Brasil é um país rico em recursos naturais, assim como farto em terra fértil, ventos de extraordinária qualidade, elevada irradiação solar e grandes reservas de água doce. Com isso, as fontes renováveis de energia, principalmente a solar fotovoltaica, devem adequar a maior parte da solução para uma matriz elétrica diversificada, limpa, segura, economicamente viável e abundante no Brasil. A sociedade está vivenciando o movimento em direção às energias renováveis no Brasil e no mundo, uma vez que esta está cada vez mais competitiva, seus projetos são arquitetados velozmente, principalmente se confrontados aos fósseis e hídricos, atendendo à crescente ação por energia elétrica no país, além de empregarem 200 vezes menos água do que as fontes fósseis de energia.

## 2.5 Vantagens e desvantagens da utilização da energia fotovoltaica como fonte de energia sustentável

Pena (2019) afirma que a vantagem principal da energia solar é que ela não só é uma energia limpa, mas, também é renovável, porque o calor do sol estará ativo durante muitos anos. Sendo assim, a maior parte da produção de energia que necessite da radiação solar não se preocupará quanto a seu fim.

Como desvantagens, de acordo com Pena (2019), tem-se que seu custo é acentuado, nas placas fotovoltaicas principalmente, mas deles tendem a diminuir. Pode-se dizer que as placas solares é um impedimento, pois, para produzi-las é necessária uma grande extração de minérios, o zinco seria um deles. Há também outra desvantagem que são os estragos ambientais que a energia solar gera, apesar da mesma não emitir poluentes e não incentivar o desmatamento, a usina solar pode provocar um aumento na mortalidade em algumas espécies, assim como nas aves. Pois, elas são atraídas pela claridade do local, assim elas se aproximam e morrem muito rápido por causa do calor que é gerado próximo ao ambiente.

Buono *et al.* (2019) citam as vantagens e desvantagens da utilização da energia fotovoltaica, sendo a primeira pelo fato de que, apesar de ser considerada uma energia limpa e que não ataca o meio ambiente, do mesmo modo proporciona suas vantagens e desvantagens:

- Alto custo para aquisição: atualmente no Brasil para se adquirir um equipamento de geração de energia fotovoltaico, deve-se desembolsar um valor significativo, e devido a esta desvantagem, fica limitado o público que pode ter acesso a essa tecnologia;
- Baixo rendimento de geração: por possuir uma baixa capacidade de geração, mesmo com os custos elevados da energia elétrica no Brasil, sua rentabilidade se estende por um longo período;
- Dependente do clima: apesar dos estudos sobre o local ideal para se realizar a instalação dos painéis fotovoltaicos, se houver alguma anomalia no clima, a geração de energia elétrica pode ser comprometida durante essa anomalia (BUONO *et al.*, 2019, p. 133).

Reis (2017) apresenta as vantagens e desvantagens da energia solar, sendo que as principais vantagens se baseiam no fato de que a energia solar não polui no decorrer de sua utilização. A poluição oriunda da fabricação dos equipamentos indispensáveis para a construção dos painéis solares é completamente controlável empregando as formas de controle existentes. Tem-se o fato de que as centrais carecem de manutenção mínima. Os painéis solares estão cada vez mais potentes aliados aos seus custos que vem baixando, o que favorece fazendo com que a energia solar seja uma solução economicamente viável. Pode-se afirmar ainda que outra vantagem está relacionada ao fato de que a energia solar é excelente em espaços remotos ou de difícil acesso, uma vez que sua instalação em pequena escala não força a enormes investimentos em linhas de transmissão. Em países tropicais, como é o caso do Brasil, o emprego da energia solar é viável em praticamente todo o território, e, em locais longe dos centros de produção energética seu emprego contribui na minimização da procura energética nestes e, por conseguinte, a perda de energia que aconteceria na transmissão.

De acordo com Reis (2017), as desvantagens se baseiam devido existir alteração nas quantidades produzidas, conforme a situação climática, ou seja, chuvas ou neve, além de que no decorrer do período noturno não há produção alguma, o que força para que haja formas de armazenamento da energia produzida no decorrer do dia em locais em que os painéis solares não estejam ligados à rede de transmissão de energia. Tem-se ainda a desvantagem devido aos locais em latitudes médias e altas como, por exemplo, é o caso da Finlândia, Islândia, Nova Zelândia e Sul da Argentina e Chile, os quais sofrem quedas bruscas de produção no decorrer dos meses de inverno por causa da menor disponibilidade diária de energia solar. Locais com frequente cobertura de nuvens, como o caso de Londres, por exemplo, tendem a ter variações diárias de produção conforme o grau de nebulosidade. Pode-se citar ainda como desvantagem as formas de armazenamento da energia solar as quais são pouco eficientes quando confrontadas, por exemplo, aos combustíveis fósseis, que é o caso do carvão, petróleo e gás, e a energia hidroelétrica, a água.

Por fim, pode-se citar que os painéis solares apresentam um rendimento de somente 25%, embora este valor estar sendo alterado, ou seja, vem aumentando ao longo dos anos.

De acordo com Buono *et al.* (2019), os impactos diretos ocasionados ao meio ambiente pela exploração da EFV são fundamentalmente inexistentes. As placas e elementos do sistema não emitem qualquer tipo de substância, energia ou ruídos. Os impactos ocasionados são essencialmente pertinentes a aspectos visuais no que diz respeito à sistemas de grande porte, contudo, quanto aos sistemas residenciais para reduzir a poluição visual pode-se aproveitar telhados, coberturas e superfícies existentes.

Quanto aos impactos indiretos, segundo Buono *et al.* (2019), estes são incitados no decorrer da fabricação dos sistemas, ou pelos resíduos causados por manutenções, como os processos de fabricação dos múltiplos arranjos de silício pedem elevadas quantidades de energia nas distintas fases. Em países onde as matrizes energéticas são fundamentadas em combustíveis fósseis, as emissões de gases de efeito estufa originam impactos ambientais. Pode-se citar ainda o fato de que o uso de materiais altamente tóxicos para a efetivação da dopagem do silício pode emitir gases com toxicidade considerável, caso não seja efetuado um controle apropriado da emissão de gases.

Outra vantagem apresentada por Buono *et al.* (2019), é por se tratar de uma fantástica fonte de energia em locais não acolhidos por outras fontes de energia. A energia hidrelétrica, mais consumida no Brasil, não chega a locais de complexo acesso ou com elevadas dificuldades para instalação de torres e cabos de energia elétrica. Tem-se como grande vantagem da EFV (Energia Fotovoltaica) o fato de que a fonte de energia é farta, quase infinita, o que a faz ser uma fonte de energia que pode ser cultivada sem a preocupação ou a racionalização da sua “matéria-prima”.

De acordo com Buono *et al.* (2019), os módulos são de simples manejo, facilitando sua montagem e desmontagem, manutenção e transporte que, embora sejam frágeis possuem peso baixo e são modulares o que tornar ótimo o espaço de armazenamento e transporte. Podem ser instalados em lugares



projetados ou adaptados a localidades por meio de suportes ou modificações nas estruturas civis.

Pode citar ainda os custos de manutenção, os quais podem modificar muito devido à fatores geográficos e métodos de operação, porém, geralmente, se depois de instalação, os gastos com manutenção dos equipamentos são muito baixos, com necessidade exclusivamente de limpeza e verificações quando for preciso (BUONO et al., 2019).

Nascimento (2017) afirma que o emprego da fonte solar para originar energia elétrica proporciona múltiplos benefícios, tanto no aspecto elétrico quanto ambiental e socioeconômico. No aspecto elétrico colabora para diversificação da matriz, ampliação da garantia no fornecimento, diminuição de perdas e alívio de transformadores e alimentadores. No que diz respeito ao aspecto ambiental, existe a diminuição da emissão de gases do efeito estufa, do envio de materiais particulados e da utilização de água para geração de energia elétrica. No que diz respeito aos benefícios socioeconômicos, a geração de energia solar fotovoltaica coopera com a geração de empregos locais, o acréscimo da arrecadação e a ampliação de investimentos.

Conforme Silva *et al.* (2019), dentre as vantagens do sistema de energia fotovoltaica, pode-se citar: sistema de compensação de energia elétrica para a microgeração e minigeração distribuída; diminuição no imposto de renda (para determinados projetos); condições distinguidas de financiamento; apoio a projetos de eficiência energética. Outra vantagem é que a implantação de um sistema para aquisição desse tipo de energia pode valer até cinquenta vezes o valor de uma pequena central elétrica. Contudo, a economia motivada no consumo de energia elétrica ao longo dos anos é muito superior ao investimento inicial.

Por fim, conforme Buono *et al.* (2019), a variedade de lugares de aplicação, pelo fato de ser versátil, abrange vários tipos de consumidores, desde os locais mais isolados até as residências dentro das grandes cidades. As desvantagens apresentadas por Buono *et al.* (2019) são apresentadas no Quadro 9, a seguir.

### Quadro 9 - Desvantagens da energia fotovoltaica

- Alto custo para aquisição: atualmente no Brasil para se adquirir um equipamento de geração de energia fotovoltaico, deve-se desembolsar um valor significativo, e devido a esta desvantagem, fica limitado o público que pode ter acesso a essa tecnologia;
- Dependente do clima: apesar dos estudos sobre o local ideal para se realizar a instalação dos painéis fotovoltaicos, se houver alguma anomalia no clima, a geração de energia elétrica pode ser comprometida durante essa anomalia;
- Os impactos indiretos são provocados durante a fabricação dos sistemas, ou pelos resíduos gerados por manutenções, como os processos de fabricação dos diversos arranjos de silício demandam grandes quantidades de energia nas diferentes etapas, em países onde as matrizes energéticas são baseadas em combustíveis fósseis, as emissões de gases de efeito estufa geram impactos ambientais;
- A utilização de materiais altamente tóxicos para a realização da dopagem do silício pode emitir gases com toxicidade considerável, caso não seja feito um controle adequado da emissão de gases.

Fonte: Adaptado pela autora de Buono *et al.* (2019, p. 133).

Ovelha (2017) ressalta que os sistemas de energia solar fotovoltaica se baseiam em sistemas apropriados de converter a energia solar em potência elétrica para manter os demais equipamentos empregados, tanto em habitações quanto em empresas. Trata-se das melhores maneiras de resolver os problemas como reprimir as implicações do aquecimento global, diminuir a dependência de combustíveis fósseis e suavizar o impacto econômico do aumento dos custos do petróleo. É a utilização de recursos de energia renovável. Com isso, os sistemas de energia solar fotovoltaica exercem um desempenho fundamental na geração de eletricidade. Realmente, constata-se um dos maiores desenvolvimentos de emprego desta tecnologia para geração de eletricidade na área das energias renováveis e acredita-se que seja uma tendência expansionista para o futuro.

### 2.6 Implantação do sistema de energia solar fotovoltaica em residências

Segundo Scheibler (2015), os sistemas isolados para geração de energia solar fotovoltaica são qualificados por não estarem integrados à rede elétrica, isto é, o sistema não transfere e nem recebe energia da rede elétrica convencional. O sistema aprovisiona inteiramente os aparelhos que usarão a energia e são comumente estabelecidos com um desígnio local e característico. Este recurso é muito empregado em locais distantes uma vez que em geral é a forma mais econômica e prática de se adquirir energia elétrica nestes locais. Modelos de utilização são sistemas de bombeamento de água, eletrificação de cercas, geladeiras para armazenar vacinas, postes de luz, estações replicadoras de

sinal, residências de pequeno porte etc. A energia causada é armazenada em baterias que asseguram o abastecimento em períodos sem sol.

De acordo com Scheibler (2015), em uma residência, o sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica tem como finalidade aprovisionar o sistema elétrico de, tendo como foco fundamental o fornecimento elétrico de precisões principais, como sistema de iluminação, alimentação para aparelhos imprescindíveis como refrigerador, televisor e disponibilidade de provável carga suplementar com potência máxima de 150W.

Siqueira e Santos (2016) afirmam que determinadas das vantagens da instalação de módulos fotovoltaicos em construções residenciais para a geração de energia são de fácil instalação, uma vez que possuem baixo custo e pouca manutenção e podem ser aproveitadas áreas inutilizadas como telhados de casas e garagens, bem como proporciona um mínimo impacto ambiental.

De acordo com Siqueira e Santos (2016), segundo a quantidade de instalações de sistemas fotovoltaicos em residências acresça, existirá uma demanda menor de energia elétrica do sistema de distribuição, aliviando, com isso, o setor de distribuição e geração, reduzindo o custo com manutenção da rede elétrica, diminuindo as despesas com instalação de linhas de transmissão e distribuição e impedindo o risco de apagões por causa da não capacidade da concessionária de absorver a demanda por energia elétrica.

Conforme Santos (2009), os sistemas fotovoltaicos podem ser implantados de duas formas, conectados a uma rede elétrica, ou funcionando isoladamente. Os sistemas isolados são geralmente usados em locais remotos, como em residências longe da rede elétrica pública. Esses sistemas são utilizados principalmente para iluminação, refrigeração e outras cargas pequenas. Outras utilizações em zonas remotas são para melhorar as condições de vida da população local, tal como uso em telecomunicações, bombeamento de água, refrigeração de medicamentos, entre outras. Estes sistemas normalmente se utilizam de um modo de acumulação da energia gerada, normalmente um banco de baterias, para suprir a demanda nos momentos em que a geração solar é insuficiente, ou à noite. Pela característica de geração e acumulação, a

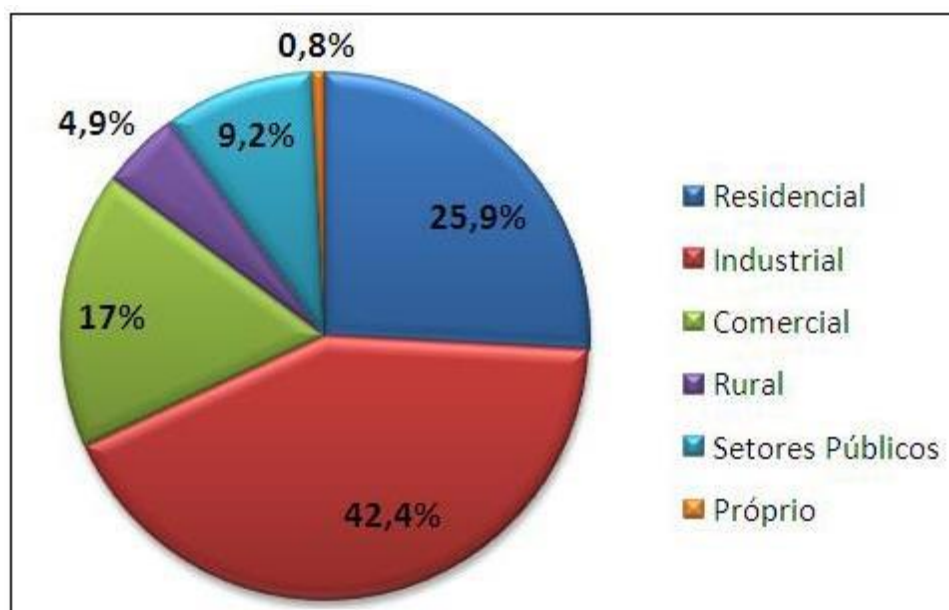
instalação elétrica à que o sistema fotovoltaico servirá, normalmente será feita em CC.

Segundo Santos (2009), o outro modo de instalação de um sistema fotovoltaico é a conexão dos módulos fotovoltaicos à rede elétrica convencional. Desta maneira toda a energia, ou somente o excedente, vai para a rede. Assim as edificações podem integrar os módulos em sua edificação, e contribuir para gerar energia para si própria e para todos os quais a rede sirva.

Santos (2009) afirma que se pode também instalar grandes sistemas específicos para geração de energia, criando centrais fotovoltaicas geradoras de energia, que tem as desvantagens da geração centralizada. A vantagem da instalação integrada à edificação é a geração junto ao ponto de consumo, sem a necessidade de sistemas de transmissão e distribuição (T&D), e a diminuição dos custos aí envolvidos. Nesses sistemas o inversor utilizado tem como uma de suas principais atribuições a transformação da energia fotovoltaica gerada em CC em energia CA para o consumo.

Fortes *et al.*, (2013) apresenta na Figura 12 o consumo de energia elétrica por setor.

Figura 12 - Consumo de energia elétrica por setor



Fonte: Fortes et al., (2013).

Fortes *et al.* (2013) afirmam que para se implementar um sistema de geração fotovoltaico ou de aquecimento de água através da energia solar, necessitam-se adquirir informações sobre os dados de irradiação solar de uma verificada localidade, efetivando-se um diagnóstico rigoroso dessas informações, no intuito de assegurar a disponibilidade energética e térmica. Para a implantação utiliza-se os seguintes componentes fundamentais de sistemas fotovoltaicos conectados à rede: módulos fotovoltaicos; inversores; e, medidores de energia.

Para a implantação, segundo Fortes *et al.* (2013), deve-se fazer o projeto de análise de viabilidade da instalação de geração solar fotovoltaica na residência. Para facilitar a tarefa, o passo a passo é o seguinte: levantamento da carga, cálculo da área disponível, cálculo da irradiância, levantamento dos custos dos equipamentos e instalação e, por fim, a análise da viabilidade econômica.

Deve-se, conforme Fortes *et al.*, (2013), efetuar o levantamento da carga estimativa de 12 meses de consumo por meio de conta de energia da concessionária local. O cálculo da área disponível no caso de ser em apartamento, deve-se imaginar uma residência com a mesma dimensão dele. Deve-se ainda estimar a área disponível para instalação dos painéis fotovoltaicos e, por fim, efetuar o cálculo da irradiação. Deve ser calculada para o local em que será instalada.

Deve ainda, de acordo com Fortes *et al.*, (2013), ser efetuado o levantamento dos custos dos equipamentos e instalação, assim como procurar os fundamentais fabricantes e quais atendem no Brasil. A análise da viabilidade econômica, neste caso, deve-se atentar que o crédito de energia gerada auxilia por 36 meses e a vida útil considerada do equipamento é de 25 anos. O custo da energia, deve ser consultado na própria conta de energia.

Quando o sistema está interligado à rede elétrica convencional, surge a necessidade de controlar a quantidade de geração que está efetivamente sendo enviada à rede. Isso ocorre para haver o controle da concessionária e do consumidor/produzidor, e para o pagamento pelos serviços de ambos (SANTOS, 2009). Santos (2009) apresenta três modos de medição que podem ser utilizados, conforme apresentado no Quadro 10.

### Quadro 10 - Modos de medição utilizados

1. Um medidor unidirecional: onde há só um medidor e um sentido único para a energia, assim só há medição da entrada de energia para a edificação quando o sistema fotovoltaico não é suficiente para o abastecimento total. Não há medição nenhuma da geração fotovoltaica, tampouco da energia que eventualmente é injetada na rede.
2. Dois medidores independentes: existem dois medidores, um para entrada da energia da rede elétrica convencional na edificação, e outro para saída da geração fotovoltaica para a rede. Neste sistema podem ocorrer ainda duas situações: ou toda energia gerada é injetada na rede, e toda energia consumida vem da rede; ou a energia gerada após passar pelo seu medidor volta para consumo da residência (somente o excedente vai para a rede), passando então pelo medidor de consumo da energia da rede.
3. Um medidor bidirecional: utilizado nos países onde o preço de compra e de geração é o mesmo, assim o mesmo medidor controla a saída da geração excedente e a entrada de energia nos momentos sem geração fotovoltaica.

Fonte: Santos (2009).

Segundo Santos (2009), estas tipologias de conexão expostas são as mais normalmente empregadas. A tipologia 2 é usada na Alemanha, do tipo *feed-in-tariff*, e em determinados outros países europeus. Neste sistema existe um grande investimento para divulgação desta tecnologia, uma vez que a energia originada pelo sistema fotovoltaico apresenta um preço superior à energia consumida da rede. Esse tipo de norte faz com que os cidadãos se sintam atraídos pelo programa, tornando a energia solar uma qualidade de investimento financeiro.

A tipologia 3 é empregada nos EUA e Japão, denominada de *net-metering* (medição líquida), contudo apresenta como crítica a pouca valorização da energia solar, uma vez que esta é vendida ao mesmo preço da tarifa de compra, inibindo o retorno do investimento. Outra questão deste tipo de conexão é a de que as concessionárias perdem parte das vendas aos consumidores e podem não amparar a instalação de um programa fotovoltaico.

Segundo Fernandes, Pereira e Mattos Júnior (2019), o aspecto que atrapalha a implementação do sistema de energia fotovoltaica é o custo de implantação do sistema, uma vez que o mesmo além disso não é difundido e seus custos de implantação ainda são altos. No Brasil o número de empresas que disponibilizam a venda de sistemas de energia fotovoltaica é pequeno e pouco difundida, fator esse que abarca exclusivamente clientes com poder aquisitivo alto, restringindo determinadas classes a implantação do sistema.

Conforme Siqueira e Santos (2016), são quatro fases que devem ser ressaltadas para a viabilização do acesso, que são consulta de acesso, informação ao acesso, solicitação de acesso e parecer do acesso, apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11 - Fases para a viabilização do acesso para a distribuição da energia solar

Consulta de acesso	A consulta de acesso deve ser formulada pelo acessante à acessada com o objetivo de obter informações técnicas que subsidiem os estudos pertinentes ao acesso, sendo livre ao acessante a indicação de um ou mais pontos de conexão de interesse. A consulta de acesso é obrigatória para os acessantes em processo de obtenção de ato autorizativo junto à ANEEL.
Informação de acesso	A informação de acesso é reposta formal e obrigatória da acessada para a consulta de acesso, sem ônus para o acessante, com o intuito de fornecer informações sobre o acesso pretendido.
Solicitação de acesso	A solicitação de acesso é o requerimento preenchido pelo acessante, que por sua vez entregue a acessada deve priorizar o atendimento conforme a ordem cronológica de protocolo.
Parecer de acesso	O parecer de acesso é o documento formal obrigatório formulado pela acessada, sem custos para o acessante, nesse documento serão informadas as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, e os requisitos técnicos 29 que possibilitam a conexão das instalações do acessante, com os prazos estipulados.

Fonte: Siqueira e Santos (2016).

Siqueira e Santos (2016) ressaltam que a média de radiação solar global diária deverá estar entre 5500 a 5900 Wh/m<sup>2</sup> dia. Levando em consideração estes dados, a instalação de painéis solares fotovoltaicos pode ser viável do ponto de vista técnico, entretanto, outros fatores ainda são indispensáveis para a implantação do sistema de energia solar.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia é conceituada como o “estudo e a avaliação dos diversos métodos, com o propósito de identificar possibilidades e limitações no âmbito de sua aplicação no processo de pesquisa científica” (DIEHL; TATIM, 2004, p. 47). Comporta a opção da melhor forma de abordar determinado problema, associando os conhecimentos referentes aos métodos em vigor nas distintas disciplinas científicas.

Na visão de Seabra (2001), a metodologia se trata do caminho do pensamento e a prática desempenhada no processo de apreensão da realidade. Com isso, é de importância fundamental para o desenvolvimento da pesquisa e a obtenção dos resultados perseguidos. Independentemente do tipo de metodologia empregada, uma pesquisa somente pode ser organizada quando se tem o

problema de pesquisa elaborado de maneira clara e os objetivos estejam bem determinados.

### 3.1 Tipos de pesquisa

A pesquisa pode ser classificada quanto à natureza como básica ou aplicada.

- Pesquisa Básica

O fato de se buscar conhecimento sem que ocorra uma aplicação prática dos mesmos, é o que podemos dizer sobre a pesquisa básica. Segundo Paranhos (2014), a pesquisa básica tem o objetivo de gerar novos conhecimentos úteis para a ciência, sem suceder aplicação prática de seus resultados.

- Pesquisa Aplicada

A metodologia de pesquisa aplicada, geralmente é utilizada com a finalidade de se desenvolver ferramentas aplicáveis ao dia a dia através do estudo em questão. De acordo com Rodrigues (2007), a pesquisa aplicada tem por objetivo a investigação, comprovação ou rejeição de hipóteses geradas pela teoria.

Desta forma, o estudo em questão utiliza o método de pesquisa aplicado, tendo como objetivo analisar os efeitos econômicos da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica em duas residências em Minas Gerais. É citado a aplicabilidade à utilização da energia elétrica, buscando otimizar tais custos.

### 3.2 Natureza da pesquisa

Conforme Oliveira (2011), as pesquisas científicas podem ser classificadas em relação à natureza, em dois tipos fundamentais: qualitativa e quantitativa e um misto dos dois tipos.

Lakatos e Marconi (2006) afirmam que a abordagem qualitativa considera a existência de uma relação dinâmica entre mundo real e sujeito. É descritiva e utiliza o método indutivo. O processo é o foco principal. A pesquisa cuja abordagem é qualitativa não procura enumerar ou medir os eventos estudados. A investigação qualitativa é usada para captar dados psicológicos que são reprimidos ou não facilmente articulados como atitudes, motivos, pressupostos, quadros de referência etc.



Já Diehl e Tatim (2004) afirmam que a natureza qualitativa constitui uma situação em que se manifesta a importância da abordagem para efeito de compreender aspectos cujos dados não podem ser coletados de modo completo.

Segundo Gil (2008), na investigação quantitativa se justifica seu uso sob o argumento de possibilidade de geração de dados estatísticos ou por razões de custo ou rapidez na pesquisa.

Conforme Malhotra (2001), a pesquisa quantitativa procura quantificar os dados e aplica alguma forma da análise estatística. Tem como objetivo quantificar os dados e generalizar os resultados da amostra para a população-alvo. Na investigação quantitativa se justifica seu uso sob o argumento de impossibilidade de geração de dados estatísticos ou por razões de custo ou rapidez na pesquisa. É utilizada para captar dados psicológicos que são reprimidos ou não facilmente articulados como atitudes, motivos, pressupostos, quadros de referência etc. A investigação quantitativa foi realizada a partir da elaboração de amostras da população, utilizando-se de dados estatísticos, e os resultados obtidos foram analisados e interpretados a partir de médias e percentuais das respostas obtidas.

Diante do exposto, entende-se que este estudo terá natureza qualitativa, uma vez que não envolve dados estatísticos.

### **3.3 Pesquisa quanto aos fins**

Segundo Diehl e Tatim (2004), uma pesquisa é classificada quanto aos fins tendo como base seu objetivo geral, sendo esse tipo de classificação muito útil no caso do estabelecimento do marco teórico, isto é, visa possibilitar uma aproximação conceitual.

De acordo Vergara (2004), as pesquisas, quanto aos fins, podem ser classificadas, em relação aos fins, sendo estas exploratória, descritiva e explicativa.

Vergara (2004, p. 47) descreve a pesquisa exploratória como sendo o tipo de pesquisa “realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Por sua natureza de sondagem, não comporta hipóteses que,

todavia, poderão surgir durante ou ao final da pesquisa”. Lakatos e Marconi (2006) afirmam que a pesquisa exploratória permite uma maior familiaridade entre o pesquisador e o tema pesquisado, pois ainda é pouco conhecido e pouco explorado. Nesse sentido, se a pergunta feita não aborda aspectos que podem visualizar o programa, é necessário que o pesquisador inicie um processo de sondagem para aprimorar as ideias, descobrir a intuição e, posteriormente, estabelecer hipóteses. Por se tratar de um estudo muito específico, pode-se dizer que assume a forma de estudos de caso e sempre é consistente com outras fontes que servirão de base para os temas abordados, como estudos bibliográficos e entrevistas com pessoas com relevante experiência em pesquisa, experiência prática de problemas de pesquisa.

Com relação à pesquisa descritiva, Diehl e Tatim (2004, p. 54) conceituam como sendo a pesquisa cujo objetivo primordial é a “descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis”. Gil (2008, p. 42) define a pesquisa descritiva da seguinte forma: “as pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis”.

No que diz respeito às pesquisas explicativas, segundo Vergara (2004), este tipo de pesquisa tem como fundamental finalidade tornar algo inteligível e justificar os motivos. Busca explicar quais fatores colaboram, de alguma maneira, para o acontecimento de determinado fenômeno.

Neste sentido, o presente trabalho recorre a pesquisa descritiva uma vez que será efetuada a descrição das características da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica em residências em Minas Gerais e serão apontados os efeitos econômicos, custos, retorno financeiro e a evolução no âmbito residencial.

### **3.4 Pesquisa quanto aos meios**

Para Diehl e Tatim (2004) uma pesquisa é classificada quanto aos meios é segundo seu procedimento técnico, ou seja, tem-se a necessidade de analisar os fatos do ponto de vista empírico, traçando um modelo conceitual e operativo

para a pesquisa, em relação ao planejamento do trabalho em sua dimensão mais ampla, envolvendo a diagramação e a previsão de coleta e interpretação de dados.

Segundo Vergara (2004), o tipo de pesquisa quanto aos meios de investigação pode ser: de campo, de caso, de laboratório, documental, bibliográfica, experimental, *ex post facto*, participante, pesquisa-ação e estudo de caso, conforme as definições abaixo:

- a) Estudo de campo: conforme Lakatos e Marconi (2006), a pesquisa de campo é aquela utilizada com o objetivo de conseguir informações e/ou conhecimentos acerca de um problema para o qual se procura uma resposta, consistindo na observação de fatos ou fenômenos tal como ocorrem espontaneamente na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que se presumem relevantes, para analisá-los;
- b) Pesquisa laboratorial: para Vergara (2004), a pesquisa de laboratório se trata da experiência efetivada em local limitado, uma vez que no campo seria praticamente impraticável realizá-la. Simulações em computador situam-se nessa categorização;
- c) Pesquisa documental: Diehl e Tatim (2004) conceitual este tipo de pesquisa como aquela que se vale de materiais que ainda não receberam tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados conforme a finalidade da pesquisa.
- d) Pesquisa bibliográfica: o levantamento bibliográfico é considerado um levantamento de fontes secundárias, ou seja, trata-se de uma das formas mais rápidas e econômicas de amadurecer ou aprofundar um problema de pesquisa é através do conhecimento dos trabalhos já feitos por outros, via levantamentos bibliográficos. Trata-se de um procedimento técnico que, conforme Diehl e Tatim (2004, p. 58), é a pesquisa “desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”, ou seja, utilizar-se-á neste estudo embasamento teórico pesquisado em livros e artigos científicos. Segundo Lakatos e Marconi (2006), a pesquisa bibliográfica se caracteriza como sendo o tipo

de pesquisa que abrange bibliografias tornadas públicas em relação ao tema de estudo e tem como finalidade colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto. Para Gil (2008) a pesquisa bibliográfica se desenvolve por meio de material já elaborado, constituído de livros e artigos. Os livros se caracterizam como fontes por excelência e são classificados como de leitura corrente ou de referência;

- e) Pesquisa experimental: segundo Vergara (2004), este tipo de pesquisa é do tipo investigação baseada na experiência em que o pesquisador manipula e controla variáveis independentes e analisa as variações que as tais manipulação e controle causam em variáveis dependentes.
- f) *Ex post facto*: de acordo com Diehl e Tatim (2004, p. 59), “trata-se de um ‘experimento’ que se realiza depois dos fatos”;
- g) Participante: Diehl e Tatim (2004) afirmam que este tipo de pesquisa se caracteriza devido à interação entre os pesquisadores e os membros das situações investigadas.
- h) Pesquisa-ação: para Diehl e Tatim (2004), trata-se de um tipo de pesquisa com fundamento empírico que é idealizada e concretizada em estreita associação com uma ação ou com uma resolução de um problema coletivo e na qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão entrelaçados de forma cooperativa ou participativa;
- i) Estudo de caso: é um tipo de pesquisa que Diehl e Tatim (2004, p. 61) caracterizam como sendo o “estudo profundo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante os outros delineamentos considerados”. Yin (2005, p. 32) afirma que o estudo de caso é definido como sendo “uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. O estudo de caso é uma técnica abrangente de pesquisa. O

estudo de caso pode trabalhar com evidência quantitativa ou qualitativa e não requer um método único de coleta de dados.

Quanto aos meios, este estudo será um estudo de caso, somado a uma pesquisa bibliográfica e documental. Será um estudo de caso uma vez que serão utilizadas duas residências que recentemente implantaram o sistema de geração de energia fotovoltaica. Quanto à pesquisa bibliográfica, tem-se que foram efetuadas diversas pesquisas em material publicado em meio eletrônico, dando embasamento e cunho científico ao estudo. No que diz respeito à pesquisa documental, esta será por meio da análise de documentos, notas fiscais, dentre outros, que sejam pertinentes aos custos da implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica.

### **3.5 Universo e amostra**

Segundo Lakatos e Marconi (2006), o universo ou população é um conjunto definido de elementos que possuem determinadas características e a amostra é um subconjunto do universo ou população, por meio da qual se estabelece ou estima as características desse universo ou população.

Conforme Gil (2008), universo ou população é um conjunto definido de elementos que possuem determinadas características. Já a amostra, esta é definida como sendo a subclasse do universo ou da população, através da qual se constituem ou se aferem as particularidades desse universo ou população.

Diante disso, pode-se afirmar que o universo deste estudo se baseia em estruturas de geração de energia fotovoltaica, implantadas na região metropolitana de Belo Horizonte.

A amostra se baseará em uma residência selecionada para compor o estudo de caso proposto neste estudo, situada em Sarzedo, em Minas Gerais.

### **3.6 Caso em estudo**

Neste estudo, o objeto do mesmo será uma residência situada no bairro Masterville I na cidade de Sarzedo - Minas Gerais, na qual ocorreu a implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica para que seja possível atingir aos objetivos propostos como, analisar os efeitos econômicos de tal implantação,

bem como analisar os custos de investimento, estimar o tempo de retorno financeiro após o investimento inicial e, identificar a evolução da adesão nas esferas residenciais, comerciais e industriais.

Para a realização do projeto baseou-se em seu consumo de energia elétrica nos últimos 12 meses e na média de radiação solar que a região recebe. Dessa forma, apresentou-se um sistema que possa atender à demanda de energia elétrica.

### **3.7 Coleta e análise de dados**

No que diz respeito ao instrumento de coleta de dados, os dados são classificados como primários e secundários. Os dados primários, conforme Lakatos e Marconi (2006), são caracterizados como aqueles que ainda não sofreram estudo e análise. Para coletá-los, serão utilizados: questionário fechado, questionário aberto, formulário, entrevista estruturada ou fechada, entrevista semiestruturada, entrevista aberta ou livre, entrevista de grupo, etc. Ambos serão realizados com usuários e fornecedores de sistemas de energia fotovoltaica. Os dados secundários são os dados que já se encontram disponíveis, pois já foram objeto de estudo e análise (livros, artigos, teses, CDs etc.).

A interpretação, de acordo com os autores, visa dar “significado mais amplo às respostas, vinculando-as a outros conhecimentos. Ela pressupõe a exposição do verdadeiro significado do material apresentado em relação aos objetivos propostos e ao tema” (DIEHL; TATIM, 2004, p. 87).

A análise dos dados é conceituada por Diehl e Tatim (2004, p. 86) como sendo “além da verificação das relações entre variáveis, as explicações e especificações dessas relações”.

Neste estudo, a análise dos dados será efetuada por meio levantamento de informações, dados coletados para apresentar os resultados. Serão elaborados gráficos, quadros comparativos e tabelas no Microsoft Excel, os quais indicarão os resultados obtidos. Esses métodos e organizações tornam a pesquisa possível de alcançar seus objetivos.

### 3.8 Limitações

Conforme Vergara (2004, p. 61), todo método possui probabilidades e limitações. “É saudável antecipar-se às críticas que o leitor poderá fazer ao trabalho, explicitando quais as limitações que o método escolhido oferece, mas que ainda assim o justificam como o mais adequado aos propósitos da investigação”.

No que diz respeito a este estudo, a limitação ocorre devido à Pandemia do Covid-19, uma vez que não será possível realizar visitas a obras e fornecedores que trabalham com a implantação do sistema.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A eficiência de um sistema de geração de energia fotovoltaica é a consequência de uma junção de fatores que envolvem a eficiência dos inversores, as características dos módulos, o ângulo de inclinação, dentre outras. O sistema instalado na residência em estudo foi de um Gerador de Energia Solar Fotovoltaico de potência igual a 2,70 kWp, com estimativa de geração de 339 KWh/mês.

### 4.1 Análise dos custos de investimento da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica

No estudo acerca da fase de estimação da quantidade de energia produzida pelo sistema e do tempo de retorno do investimento, determinados parâmetros foram seguidos fundamentados em valores descritos na literatura. Com isso, os resultados expostos são baseados em estimativas. Segundo apresentado por Souza (2016), o qual afirma que o sistema só vai gerar eletricidade nas horas de sol e que os sistemas autônomos são dotados de acumuladores que contêm a energia para as ocasiões sem sol, o que ocorre todas as noites, e do mesmo modo nos momentos chuvosos ou nublados, a quantidade de energia elétrica que será gerada pelos módulos fotovoltaicos estará sujeita às condições que a natureza proporcionará ao ambiente, isto é, variações de temperatura, de irradiância solar, inclinação e direção disponível, os quais exercerão influência inteiramente nas análises de resultado demonstrados.

Diante disso, para fins de cálculo de geração e eficiência energética, levou-se em consideração a posição de fixação das placas como sendo voltadas para o norte, utilizando uma área aproximada de: 11 [m<sup>2</sup>].

Tendo em vista que seu consumo médio mensal é de: 300 [Kwh], o sistema ideal é o de: 2,25 [Kwp], que permitirá reduzir a atual fatura aos custos mínimos exigidos pela concessionária de energia. Essa usina tem geração média estimada em: 282 [Kwh/mês].

Foram utilizados os seguintes materiais:

Quadro 12 - Materiais e serviços na implantação do sistema fotovoltaico

Qtd	Material
5,00	Painel solar fotovoltaico - Jinko - 450 Wp
1,00	Inversor CC/CA 220V - GROWATT - 2000W
1,00	String box CC/CA
1,00	Estrutura de fixação dos painéis (trilhos de alumínio, suporte fixador e grampos).
1,00	Projeto e homologação junto a cooncessionária CEMIG
1,00	Kit elétrico para instalação
1,00	Mão de obra especializada para Instalação
1,00	Sistema de monitoramento online (caso o cliente tenha sinal de wifi disponível)



**Valor do Investimento**

**R\$ 13.260,00**

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

## 4.2 Estimativa do tempo de retorno financeiro após o investimento inicial

A etapa inicial para que seja efetuada a análise da viabilidade econômica de um projeto para a instalação de um sistema de energia fotovoltaico consiste em efetivar-se um levantamento de todo o investimento que será indispensável para a instalação do mesmo em uma residência.

Para iniciar a análise de viabilidade econômica prévia do sistema fotovoltaico deve ser efetuada uma análise financeira do investimento em que se apresenta o gasto médio mensal, a economia média mensal e anual, a redução mensal estimada, a economia média em 25 anos.

Quadro 13 - Apresentação da análise financeira do investimento

Gasto médio mensal do cliente	307,30
Economia média mensal do cliente	232,50
Economia média anual do cliente	2.790,00



Redução mensal estimada	75,70%
Economia média em 25 anos do cliente	69.750,00
Payback estimado	4,4 anos

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A análise econômica prévia à instalação do sistema sugere que haverá uma economia média de ao final do 25º ano de aproximadamente R\$ 69.750,00. No que diz respeito ao tempo de Payback, a finalidade é a de averiguar em quanto tempo o somatório das entradas se iguala ao valor do investimento inicial, isto é, em quanto tempo o investimento irá começar a originar riqueza.

Na Figura 13, a seguir, é demonstrada a projeção do investimento em 25 anos.

Figura 13 - Projeção do investimento em 25 anos



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Conforme demonstrado na figura 13, o valor do retorno é crescente ano após ano. Vale ressaltar que este payback se refere aos cálculos atuais, desconsiderando os reajustes das tarifas CEMIG para os próximos anos, o que resultaria em um tempo menor de retorno.

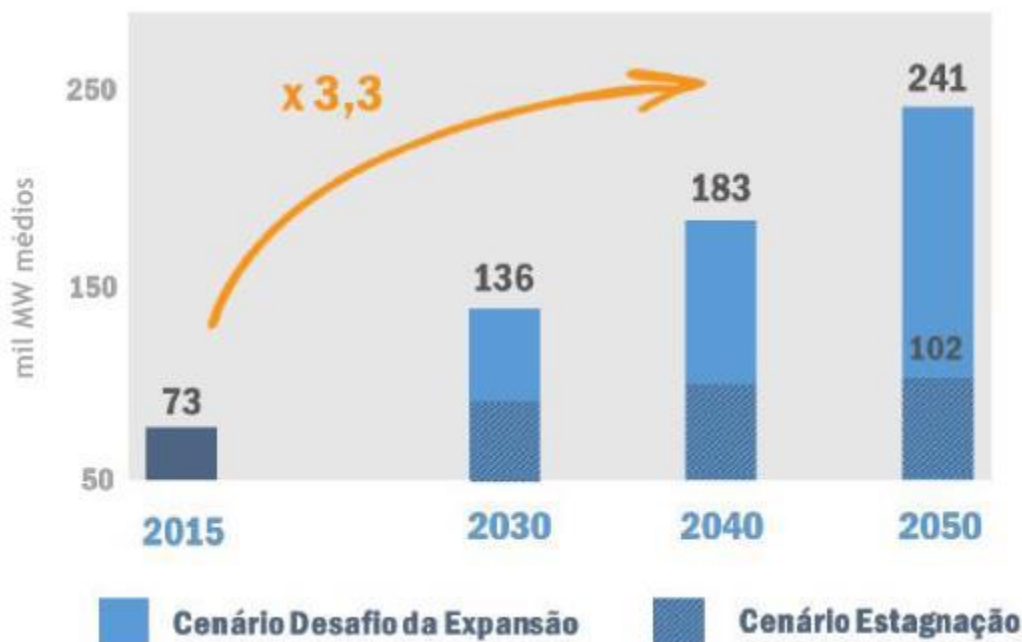
A quantidade de energia produzida pelo sistema no decorrer dos anos irá diminuir e, com isso, retorno financeiro por parte do sistema do mesmo modo.

De acordo com a Figura 13, pode-se afirmar esses 25 anos considerados na projeção de investimentos, o qual representa o período analisado, é levando-se em conta que a vida útil do sistema fotovoltaico é desse período, ou seja, 25 anos, tornando possível efetuar a comparação na projeção apresentada.

### 4.3 Evolução da adesão nas esferas residenciais, comerciais e industriais

Segundo dados apresentados por Brasil (2020), as projeções demográficas são fundamentadas nas tendências atuais ressaltadas para a mortalidade, fecundidade e migração. Ressalva-se que, no decorrer dos últimos anos, a população brasileira tem crescido a taxas cada vez menores, tendência que se conservará nos próximos anos, com perspectiva de decréscimo na década de 2040. A visão de longo prazo tanto do crescimento total da população, quanto pertinente à sua distribuição entre as regiões, grau de urbanização e perfil de renda tem intensas decorrências para a estimativa de panoramas de demanda de energia, que são insumos para o estudo de estratégias de expansão de oferta no longo prazo. Entre os anos de 2015 e 2050, estima-se que a população brasileira desenvolva a uma taxa média de 0,3% a.a., um acréscimo em torno de 21 milhões de habitantes, o que beira à soma da população de Portugal e Grécia em 2015. Diante disso, em 2050, o Brasil incidirá a ter 226 milhões de habitantes (Figura 14).

Figura 14 - Evolução do consumo de energia elétrica



Fonte: Brasil (2020).

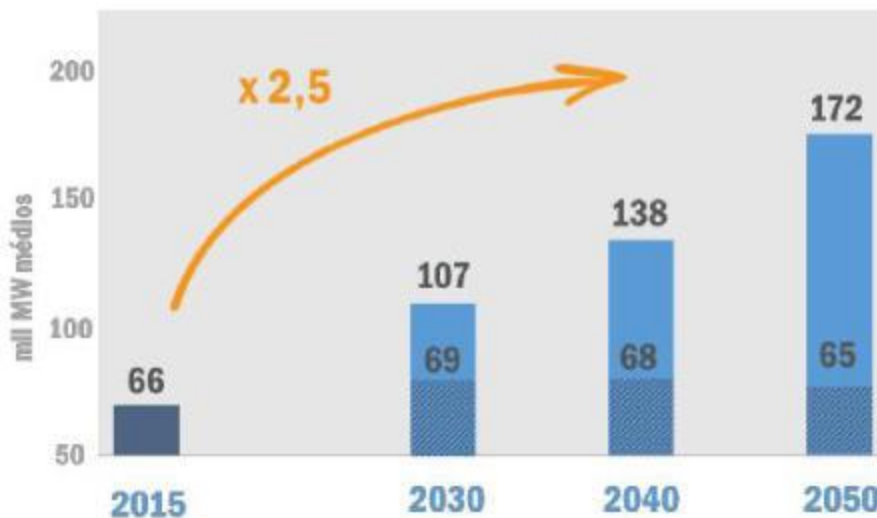
Conforme demonstrado na Figura 14, no cenário desafio da expansão cogita-se um desenvolvimento do consumo potencial de energia elétrica (que abrange o consumo atendido pela rede, a partir da autoprodução, a geração distribuída -

MMGD - e considerado antes da retirada dos ganhos de eficiência energética) da economia brasileira de 3,5% ao ano em média entre os anos de 2015 e 2050, alcançando-se um valor próximo de 240 mil MWmédios (ou pouco mais de 2.100 TWh) ao final do período. Deste total, acredita-se que em torno de 5% do consumo potencial serão atendidos por geração distribuída, que diz respeito à quase 11 mil MWmédios, enquanto 7% (ou 16 mil MWmédios) por autoprodução. A eficiência energética se amplia de maneira expressiva no período, necessitando alcançar 17% do total requisitado em 2050, o que equivaleria a pouco mais de 40 GWmédios ou perto de 360 TWh. Com isso, a análise da expansão da geração centralizada de eletricidade é estabelecida a partir do consumo estimado na rede, que satisfaz ao resultado alcançado a partir do consumo potencial de energia elétrica, descontadas as parcelas consideradas de contribuição de eficiência energética, autoprodução e geração distribuída (BRASIL, 2020).

Segundo dados apresentados por Brasil (2020), no cenário estagnação, a taxa média projetada de crescimento do consumo potencial de energia elétrica é de 1% ao ano entre os anos de 2015 e 2050, alcançando-se um valor pouco abaixo de 100 mil MWmédios (ou pouco menos de 870 TWh) ao final do período. A menor expansão econômica e o crescimento populacional modesto acabam por se refletir em uma menor expansão do consumo potencial de energia elétrica no horizonte deste cenário. Deste total, existe uma ampliação da participação da autoprodução com 14% (ou 13 mil MWmédios) do consumo potencial. Cerca de 7% do consumo potencial serão atendidos por geração distribuída, representando em torno de 6 mil MWmédios, enquanto a eficiência energética responde por 10% do total requisitado em 2050, o que equivaleria a pouco menos de 10 mil MWmédios.

No cenário desafio da expansão, a demanda de energia elétrica a ser atendida por geração centralizada desenvolve até 2,5 vezes no que diz respeito aos valores do ano base, ainda com crescimento de GD, autoprodução, energia solar térmica e eficiência energética no período (BRASIL, 2020).

Figura 15 - Evolução da demanda de energia elétrica a ser atendida por geração centralizada



Fonte: Brasil (2020).

No cenário desafio da expansão, de acordo com informações de Brasil (2020), a precisão de atendimento de demanda de eletricidade por meio de geração centralizada alcança em torno de 172 mil MW médios, o que diz respeito em torno de 2,5 vezes o consumo analisado em 2015. Em 2050, tal patamar é de em torno de 70% do requisito total de energia da economia brasileira. Esse desenvolvimento pode ser também mais articulado caso as expectativas de expansão mais acelerada de GD, autoprodução, energia solar térmica e eficiência energética neste cenário não se consolidem.

No cenário estagnação a expectativa é de a geração centralizada permanecer em torno de 65 mil a 70 mil MW médios, patamar que simula em torno de 2/3 do requisito total de energia em 2050, não somente pelo crescimento mais modesto pertinente a este cenário, contudo do mesmo modo a um acréscimo da participação relativa de autoprodução e GD, cujos determinantes não se limitam somente à evolução da atividade econômica interna (BRASIL, 2020).

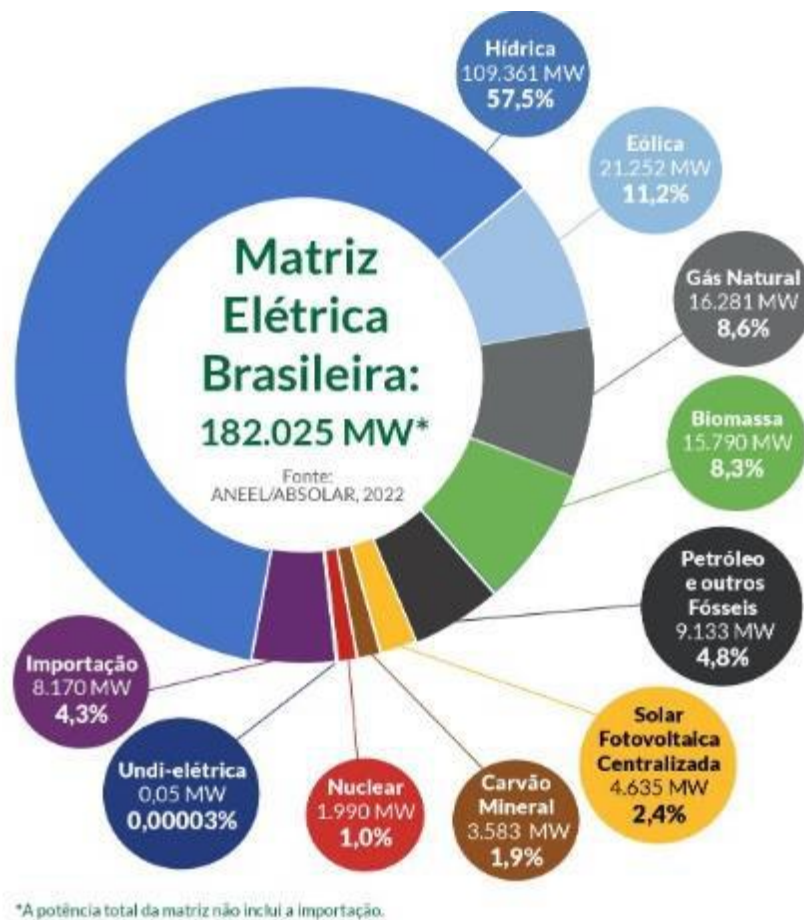
Segundo informações de Brasil (2020), a energia solar tem sido a fonte que oferece o maior desenvolvimento de capacidade instalada anualmente no mundo. Isso se elucida dados os preços decrescentes determinados nos últimos anos, à força tecnológica devido a projetos com mais de 30 anos em funcionamento, o amplo potencial técnico existente e a não emissão de gases de efeito estufa no decorrer da operação dos parques.

Essa tendência mundial do mesmo modo se aplica no Brasil. Devido à sua localização geográfica, o Brasil recebe altos índices de incidência da radiação solar, confrontados a países em que a tecnologia fotovoltaica está mais adiantada, e relativamente uniformes no território nacional, o que comporta ampliar projetos solares viáveis em distintas regiões. Deste modo, devido à minimização de custos estimada, a fonte solar fotovoltaica se proporciona como alternativa competitiva no fornecimento de energia, podendo colaborar com os compromissos nacionais de redução de gases de efeito estufa (BRASIL, 2020).

Segundo dados apresentados pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar) (2022), a fonte solar fotovoltaica no Brasil promove benefícios como mais de 13,5 GW operacionais, mais de R\$ 72,3 bilhões em novos investimentos, mais de 405 mil novos empregos gerados, mais de R\$ 18,2 bilhões em arrecadação de tributos e mais de 17,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas.

Conforme demonstrado na Figura 16, a matriz elétrica brasileira apresenta atualmente uma potência de 182.025 MW, sendo que a energia solar fotovoltaica centralizada representa 4.635 MW do total, perfazendo 2,4%.

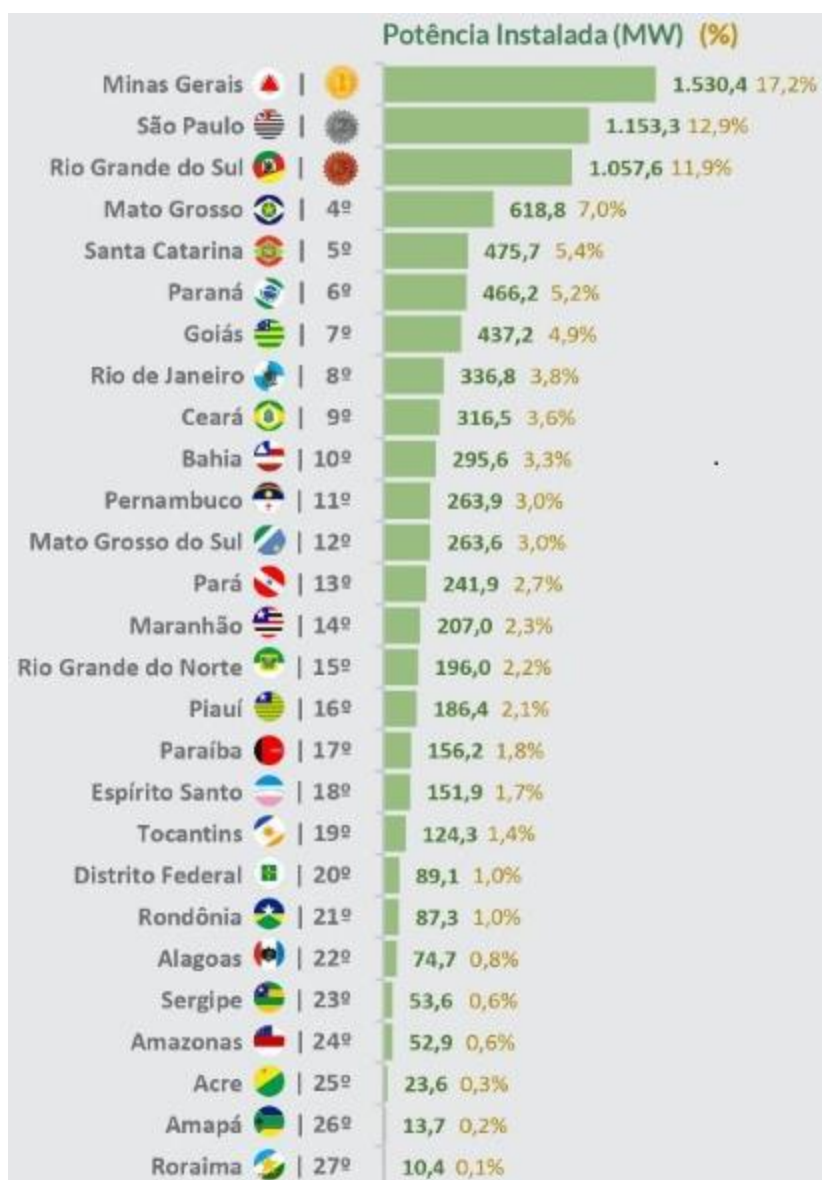
Figura 16 - Matriz elétrica brasileira



Fonte: Absolar (2022).

Segundo dados da Absolar (2022), no ranking estadual da geração distribuída destaca-se o estado de Minas Gerais, o qual possui 1.530,4 MW de potência instalada, ou seja, 17,2%, seguido de São Paulo com 1.153,3 MW (12,9%) e o Rio Grande do Sul com 1.057,6 MW (11,9%), conforme apresentado na Figura 17:

Figura 17 - Ranking estadual da geração distribuída



Fonte: Absolar (2022).

No que diz respeito ao ranking municipal de potência instalada, a Figura 18 apresenta a cidade de Cuiabá no Mato Grosso em primeiro lugar com 104,3 MW (1,2%) de potência instalada, Teresina, no Piauí com 92,7 MW (1,0%), Brasília, no Distrito Federal, com 89,1MW (1,0%), sendo que Uberlândia, no estado de Minas Gerais se encontra em 4º lugar com 79,3 MW (0,9%).

Figura 18 - Ranking municipal de potência instalada



Fonte: Absolar (2022).

Com relação à geração centralizada, a Figura 19 demonstra a potência instalada (MW) e o status das usinas solares fotovoltaicas outorgadas no mercado regulado e do mercado livre por estado, sendo que Minas Gerais, em primeiro lugar, até o mês de fevereiro de 2022 tem-se 633,7 MW em operação, 1.866,0 MW em construção, 10.128,5 MW em construção ainda não iniciada, perfazendo um total de 12.628,2 MW.

Figura 19 - Geração centralizada no Brasil



Fonte: Absolar (2022).

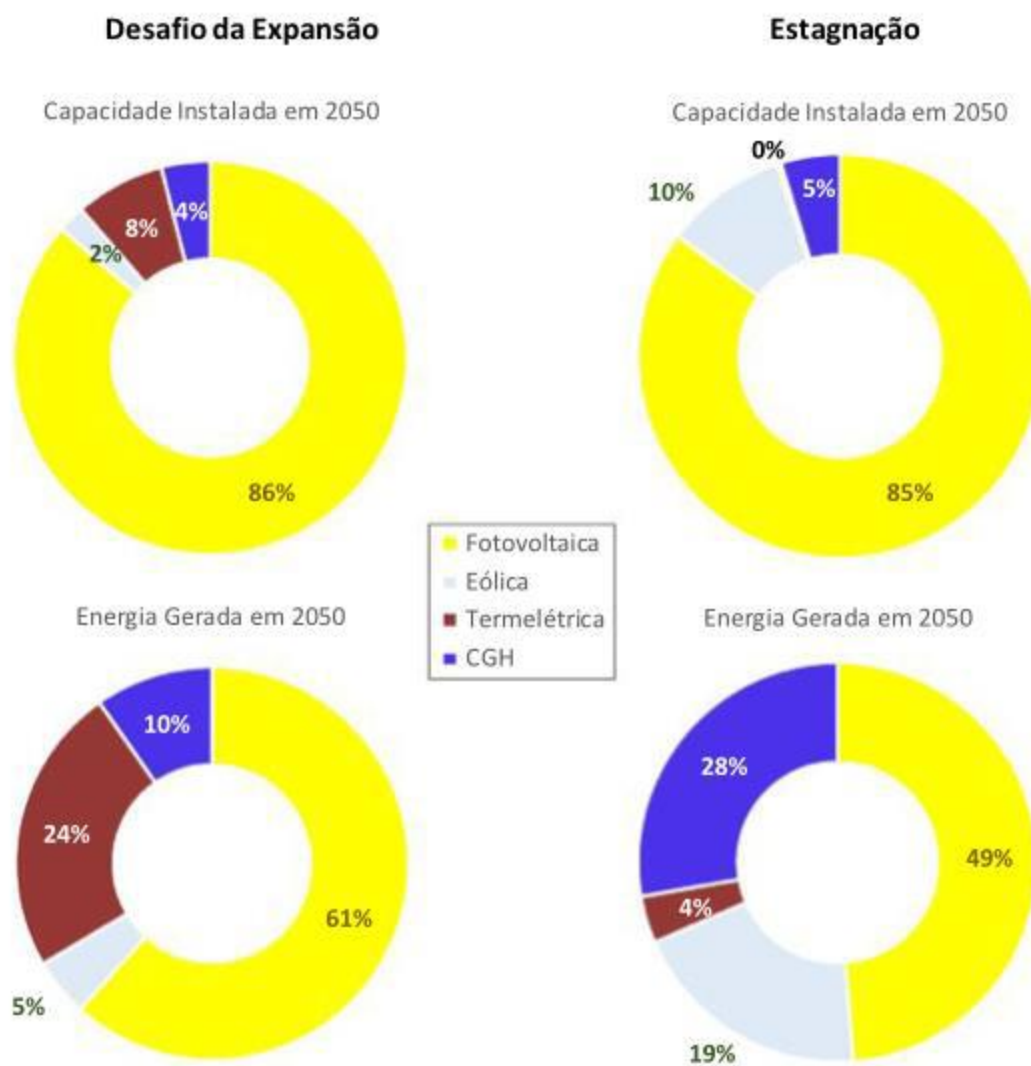


Um fator que implanta incerteza no que diz respeito à inclusão da fonte solar fotovoltaica no planejamento de longo prazo é a celeridade com que acontece sua evolução tecnológica. Soluções sugeridas são seguidas velozmente pela indústria, e as particularidades dos projetos tornam-se arcaicas em poucos anos. Como exemplo ressaltante para o mercado brasileiro, alude-se a agilidade da transição dos projetos de estrutura fixa para sistemas de rastreamento em um eixo. Em somente três anos, existiu completa inversão na consideração dos projetos participantes dos leilões de energia do mercado regulado (BRASIL, 2020).

Quanto à geração distribuída, a Absolar (2022) apresenta os sistemas de microgeração (até 75 kW) e minigeração (acima de 75 kW até 5 MW) distribuída solar fotovoltaica implantadas em residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos. Os dados demonstram que 97,9% se trata da fração de potência instalada na microgeração e minigeração distribuída da fonte solar fotovoltaica, líder isolada do segmento. 99,9% de todas as conexões de micro e minigeração distribuída são da fonte solar fotovoltaica. São 816.961 sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede. Por fim, são 1.028.555 unidades consumidoras (1,2% do total) recebendo créditos pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

De acordo com informações de Brasil (2020), fundamentalmente, o perfil tecnológico adotaria centralizado na energia solar fotovoltaica, concebendo pouco mais de 85% da capacidade instalada no fim do horizonte (Figura 20), devido sua modularidade, custo decrescente e difusão da tecnologia entre a sociedade. Entretanto, especialmente por meio do modelo de autoconsumo remoto e geração compartilhada se discerne elevado potencial para a geração eólica, termelétrica à biomassa e hidrelétrica. São fontes que podem proporcionar custos menores do que a fotovoltaica e, deste modo, ganhar espaço da fonte solar.

Figura 20 - Composição tecnológica da matriz de micro e do minigerador distribuído -MMGD



Fonte: Brasil (2020).

A Figura 21 apresenta a geração distribuída de energia solar fotovoltaica no Brasil, dividida por classe de consumo. Com relação ao número de sistemas conectados à rede, conforme já mencionado, que é de 816.961 MW, sendo que, desses, 628.859 sistemas (77,0%) se encontram na classe residencial, 106.542 (13,1%) se encontram na classe comercial e serviços, 62.260 sistemas (7,6%) se encontram na classe rural, 16.541 sistemas (2,0%) na classe industrial, 2.507 sistemas (0,3%) no Poder Público, 208 sistemas (0,03%) no Serviço Público e 44 sistemas (-,01%) referente a iluminação pública.

Figura 21 - Geração distribuída de energia solar fotovoltaica no Brasil por classe de consumo



Fonte: Absolar (2022).

A Figura 22 apresenta a evolução do preço da fonte de energia solar fotovoltaica em leilões de energia do mercado regulado. O Gráfico apresenta que desde o ano de 2019 a fonte de energia solar fotovoltaica se encontra entre as mais competitivas do Brasil.

Figura 22 - evolução do preço da fonte de energia solar fotovoltaica em leilões de energia do mercado regulado



Fonte: Absolar (2022).

De acordo com dados fornecidos pela Absolar (2022), a fonte de energia solar fotovoltaica atingiu novos recordes de geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), no qual apresentou uma média diária até 5 de outubro de 2021 de 1.322 MW médios atendendo a 1,8% da demanda por eletricidade do Brasil. A máxima diária até o dia 29 de setembro de 2021 foi de 3.626 MW às 10h52, equivalente a 4,7% da demanda nacional neste instante. Os dados apontam ainda que 1,7% da oferta de energia elétrica no Brasil foi gerada pela fonte solar fotovoltaica no mês de janeiro de 2022.

No que diz respeito à cadeia produtiva, de acordo com informações da Absolar (2022), o Brasil possui 98 fabricantes do setor solar fotovoltaico que são

cadastrados na Agência Especial de Financiamento Industrial (FINAME) do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O Brasil necessita de uma política industrial que seja mais competitiva e justa para o setor visando a redução dos preços dos componentes e equipamentos produzidos no país, gerando mais empregos, tecnologia e inovação. Na Figura 23 é possível identificar os fabricantes por tipo de componente.

Figura 23 - Cadeia produtiva - fabricantes do setor fotovoltaico cadastrados no FINAME do BNDES



Fonte: Absolar (2022).

De acordo com informações de Brasil (2020), a evolução na tecnologia de células é mais um exemplo evidente. Novas variantes de células de silício são utilizadas a cada ano, tanto devido à modificação nas particularidades intrínsecas ao material, diminuição na espessura das células ou alterações na estrutura dos contatos. Existe também as expectativas de novos materiais em substituição aos tradicionais módulos de silício cristalino. No final da primeira década do século XXI, existiu um pico na participação de mercado dos módulos de filmes finos da denominada segunda geração, silício amorfo, CIGS e telureto de cádmio. Destas, hoje em dia somente a última conserva sua competitividade. Uma terceira geração de tecnologias está em desenvolvimento, dentre quais pode-se citar as células sensibilizadas por corantes, células orgânicas, células de perovskita, células CZTS (e suas variações) e células sensibilizadas por pontos quânticos.

No nível de módulos, do mesmo modo existe aperfeiçoamentos contínuos. Nos últimos anos, os módulos ampliaram seu tamanho padrão, em torno de 1,6 m<sup>2</sup> para 2 m<sup>2</sup>, o número de células foi aumentado e novas formas foram sugeridas, com emprego de células cortadas ao meio, e com o polímero posterior sendo substituído por um segundo vidro, aceitando o aproveitamento da radiação nesta

face (em células que apresentem essa particularidade), nos denominados módulos bifaciais. Tais módulos podem aumentar a geração em até mesmo 50% no que diz respeito aos módulos convencionais. Muitos desses progressos acarretarão, de alguma forma, a redução da demanda de área para a implantação de usinas solares, diminuindo os impactos ambientais pertinentes a mudanças no uso da terra geradas pela instalação de novas usinas como, por exemplo o desmatamento. Existe do mesmo modo opções tecnológicas voltadas à redução da demanda de água para a limpeza dos painéis fotovoltaicos, o que pode ser positivo nas áreas com restrições na oferta de água, como no caso do semiárido nordestino que deverá concentrar a maior parte da expansão da fonte (BRASIL, 2020).

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo teve como objetivo principal analisar os efeitos econômicos da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica em uma residência unifamiliar. Para que o objetivo geral fosse atingido, foram traçados os objetivos específicos, sendo esses: analisar os custos de investimento da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica; estimar o tempo de retorno financeiro após o investimento inicial e, identificar a evolução da adesão nas esferas residenciais, os quais foram atingidos.

Analisando os resultados prévios fornecidos para a instalação do sistema, é possível concluir que o sistema de energia fotovoltaica proposto é viável economicamente, de acordo com os dados apresentados na análise financeira do estudo.

Inicialmente foi realizado um estudo teórico sobre o sistema de energia fotovoltaica visando dar cunho científico ao estudo, pois foram apresentadas teorias que abrangeram o tema proposto. Com isso, foi alcançado conhecimento de como funcionam os sistemas fotovoltaicos e que estes podem ser inseridos em qualquer lugar que tenha radiação solar satisfatória. Tratam-se de sistemas que não empregam combustíveis, não têm partes móveis, e por serem aparelhos de estado sólido, demandam menor manutenção. No decorrer do seu funcionamento não causam ruído acústico ou eletromagnético, e também não emitem gases tóxicos ou outro tipo de poluição ambiental.

Para concluir o trabalho foi realizado um estudo acerca da análise dos custos de investimento da implantação de um sistema de energia fotovoltaica, cujo sistema se baseou em um gerador de energia solar fotovoltaico de potência igual a 2,70 kWp, com estimativa de geração de 339 KWh/mês e, com isso, para fins de cálculo de geração e eficiência energética, levou-se em consideração a posição de fixação das placas como sendo voltadas para o norte, utilizando uma área aproximada de: 11 [m<sup>2</sup>], levando-se em consideração um consumo médio mensal de: 300 [Kwh], cujo sistema ideal é o de: 2,25 [Kwp], que permitiria reduzir a atual fatura aos custos mínimos exigidos pela concessionária de energia. Essa usina tem geração média estimada em: 282 [Kwh/mês].

Com isso, chegou-se ao valor de investimento de R\$ 13.260,00 com uma estimativa do tempo de retorno financeiro após o investimento inicial de 4,4 anos e uma economia média em 25 anos de R\$ 69.750,00. Ou seja, a análise econômica prévia à instalação do sistema sugere que haverá uma economia média de ao final do 25º ano de aproximadamente R\$ 69.750,00. No que diz respeito ao tempo de 4,4 anos, diz respeito ao Payback, cuja finalidade é a de averiguar em quanto tempo o somatório das entradas se iguala ao valor do investimento inicial, isto é, em quanto tempo o investimento irá começar a originar riqueza.

Por meio deste estudo foi possível ainda identificar que a energia fotovoltaica é como a energia gerada por meio do convertimento direto da radiação solar em eletricidade. Tal situação ocorre através de um dispositivo versado como célula fotovoltaica que age empregando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico. O efeito fotovoltaico é originado por meio da absorção da luz solar, que gera uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Os sistemas fotovoltaicos são qualificados por empregarem dispositivos controladores e conversores, podendo além disso usar baterias ou estar interligados diretamente a rede elétrica.

Este estudo não se esgota aqui, uma vez que sugere-se maior aprofundamento sobre o tema, por se tratar do fato de que a energia fotovoltaica é uma fonte de energia renovável e que vem crescendo gradativamente no mercado mundial como um tipo de energia autossustentável, dispersando, dessa forma, como uma

fonte de energia economicamente duradoura para todo o país e não somente para regiões isoladas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Eliane; ROSA, Anna Clara; DIAS, Fernanda Cristina Lima Sales; BRAZ, Kathlen Thais Mariotto; LANA, Luana Teixeira Costa; SANTO, Olívia Castro do Espírito; SACRAMENTO, Thays Cristina Bajur. **Energia solar fotovoltaica**: revisão bibliográfica. 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3574>. Acesso em: 13 set. 2021.

ALMEIDA, Pedro Machado de. **Condicionamento da energia solar fotovoltaica para sistemas interligados à rede elétrica**. Disponível em: <http://www.ufjf.br/labsolar/files/2011/05/Condicionamento-da-Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 9 out. 2021.

ALVES, Dennys Lopes. **Geração solar fotovoltaica**: conceitos básicos. Disponível em: [https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila\\_geracao\\_solar\\_fv\\_0.9.1](https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1). Acesso em: 13 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - ABSOLAR. Energia solar fotovoltaica no Brasil. **Infográfico Absolar**, 2022, n. 40. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 28 mar. 2022.

BEIGELMAN, Bruno Boaventura. **A energia solar fotovoltaica e a aplicação na usina solar de Tauá**. 61 fls. Projeto de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ. Escola Politécnica, 2013. Curso de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007228.pdf>. Acesso em: 9 out. 2021.

BEZERRA, Igor Lisboa. **Dimensionamento de equipamentos de energia solar fotovoltaica aplicados ao bombeio mecânico com hastes**. 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2017. Disponível em: <https://cupdf.com/document/dimensionamento-de-equipamentos-de-dimensionamento-de-equipamentos-de-energia.html>. Acesso em: 13 set. 2021.

BRASIL. **Plano Nacional de Energia 2050**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2022.

BUONO, A. S.; DIAS, D. S.; CHAVES JÚNIOR, G. P.; RANIEL, T.; SCHCOLIN, R. H. Z. Energia fotovoltaica: surgimento, vantagens e desvantagens. **Rev. Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 16, n. 1, 2019. Disponível em: <http://revistaconexao.aems.edu.br/wp-content/plugin-ins/download-attachments/includes/download.php?id=2141>. Acesso em: 19 set. 2021.

CAMARGO, Lucas Tamanini. **Projeto de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 101 fls. Universidade Estadual de Londrina. Curso de Engenharia Elétrica. II. Londrina, 2017. Disponível em: [http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017\\_LucasTamaniniCamargo.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017_LucasTamaniniCamargo.pdf). Acesso em: 10 out. 2021.

DIEHL, Astor Antônio; TATIM, Denise Carvalho. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice-Hall, 2004.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf). Acesso em: 10 out. 2021.

FERNANDES, Angel de Souza; PEREIRA, Lucas Junio de Souza; MATTOS JÚNIOR, Pedro Alcântara de Mattos Junior. **Implantação do sistema de energia fotovoltaica conectado à rede elétrica (on grid) para programa Minha Casa Minha Vida**. Disponível em: [http://revistapensar.com.br/tecnologia/pasta\\_upload/artigos/a159.pdf](http://revistapensar.com.br/tecnologia/pasta_upload/artigos/a159.pdf). Acesso em: 12 out. 2021.

FIGUEIRA, Fabio Fernandes. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para alimentar a sala de computação da Escola Municipal Tenente Antônio João**. 63 fls. (Projeto de Graduação) UFRJ/Escola Politécnica. Curso de Engenharia Elétrica. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011680.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.

FORTES, Márcio Zamboti; FERREIRA, Vitor Hugo; DIAS, Bruno Henriques; GOMES, Flávio. **Conceitos iniciais para dimensionamento sistema fotovoltaico em residências**. Disponível em: [http://www.ufjf.br/flavio\\_gomes/files/2013/05/Projeto-Solar\\_-\\_Introdu%C3%A7%C3%A3o-a-Engenharia-El%C3%A9trica.pdf](http://www.ufjf.br/flavio_gomes/files/2013/05/Projeto-Solar_-_Introdu%C3%A7%C3%A3o-a-Engenharia-El%C3%A9trica.pdf). Acesso em: 12 out. 2021.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina solar fotovoltaica em consórcio com a reabilitação de áreas degradadas**. Belo Horizonte: FEAM, 2016. Disponível em: [http://www.feam.br/images/stories/2016/PESQUISA\\_DESENVOLVIMENTO/Relatorio\\_1\\_PD2\\_Vers%C3%A3o\\_Final\\_2016\\_NOVEMBRO.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2016/PESQUISA_DESENVOLVIMENTO/Relatorio_1_PD2_Vers%C3%A3o_Final_2016_NOVEMBRO.pdf). Acesso em: 8 out. 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LAKATOS, Eva Maria, MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

MAGALHÃES, Evaldo. **Novo valor de 'bandeira vermelha 2' deve elevar uma conta de luz de R\$ 135 para mais de R\$ 200**. Disponível em: <https://www.hojeemdia.com.br/primeiro-plano/economia/novo-valor-de->



bandeira-vermelha-2-deve-elevar-uma-conta-de-luz-de-r-135-para-mais-de-r-200-1.843358. Acesso em: 24 ago. 2021.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**.

Disponível em:

[http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia\\_solar\\_lim.pdf?sequence=1](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_lim.pdf?sequence=1). Acesso em: 20 set. 2021.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira de. **Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração**. 2011. Disponível em:

[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual\\_de\\_metodologia\\_cientifica\\_-\\_Prof\\_Maxwell.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf). Acesso em: 6 nov. 2021.

OVELHA, R. M. R. V. **Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia *off grid***. 102 fls. Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Lisboa, 2017. Disponível em:

[http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/31733/1/ulfc124090\\_tm\\_Rui\\_Ovelha.pdf](http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/31733/1/ulfc124090_tm_Rui_Ovelha.pdf). Acesso em: 20 set. 2021.

PENA, R. F. A. **Vantagens e desvantagens da energia solar**. Disponível em:

<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/vantagens-desvantagens-energia-solar.htm>. Acesso em: 20 set. 2021.

RAMOS, C.; RUIZ, E. T. N. F.; BICALHO, F. W.; BARBOSA, J. M.; BARROS, L. V. B.; RABASSA, M. M. M. **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Brasília: Sebrae, 2018. Disponível em:

<http://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/estudo%20energia%200fotovolt%C3%A1ica%20-%20baixa.pdf>. Acesso em: 22 set. 2021.

REIS, P. **Vantagens e desvantagens da energia solar**. Disponível em:

<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>. Acesso em: 20 mai. 2021.

SANTOS, Ísis Portolan dos. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. 126 fls. (Dissertação). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC. Florianópolis, 2009. Disponível em:

<http://fotovoltaiica.ufsc.br/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20final-Isis.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

SCHEIBLER, Gustavo. **Projeto de um sistema de abastecimento de energia elétrica auxiliar a partir de painéis fotovoltaicos para uso residencial**. 77 fls.

Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC). Centro Universitário Univates. Curso de Engenharia de Controle e Automação. Lajeado, 2015. Disponível em:

<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/907/1/2015GustavoScheibler.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

SEABRA, Giovanni de Farias. **Pesquisa científica: o método em questão**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.

SILVA, L. S.; ASSUNÇÃO, R. F.; ROCHA SOBRINHO, D. C.; FREITAS, E. S.; ASSUNÇÃO, W. R. Avaliação de custo benefício da utilização de energia fotovoltaica. **RCT - Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 9 (2019). Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/5405>. Acesso em: 19 set. 2021.

SIQUEIRA, Allan Fabio Pereira; SANTOS, Letícia Neves dos. **Estudo de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) na câmara municipal de São José dos Pinhais**. 82 fls. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT. Curitiba, 2016. Disponível em: [https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015\\_1\\_20/2015\\_1\\_20\\_final.pdf](https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015_1_20/2015_1_20_final.pdf). Acesso em: 12 out. 2021.

SOUZA, Ronilson di. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**. 2016. Disponível em: <http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.

TIEPOLO, Gerson Maximo; CANGIOLIERI JR. Osiris. Tendências e perspectivas para as fontes renováveis de energia no planejamento energético brasileiro. In: PEREIRA, Thulio Cícero Guimarães. **Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético**. Curitiba: COPEL, 2014. p. 64-84. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/942>. Acesso em: 10 out. 2021.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2015.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.