

## **Análise de mercado de sistemas de energia solar fotovoltaica com ênfase na área rural brasileira**

**Market analysis of photovoltaic solar energy systems with emphasis on brazilian rural area**

**Análisis de mercado de sistemas de energía solar fotovoltaica con énfasis en el área rural brasileña**

Recebido: 29/12/2022 | Revisado: 15/01/2023 | Aceitado: 18/01/2023 | Publicado: 21/01/2023

**Daniele Cristina Lopes Mariano**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3501-7086>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: [daniele.lopes@unesp.br](mailto:daniele.lopes@unesp.br)

**Marcus Vinícius Contes Calça**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5685-3980>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: [marcus.calca@unesp.br](mailto:marcus.calca@unesp.br)

**Fernando de Lima Caneppele**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4498-8682>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: [caneppele@usp.br](mailto:caneppele@usp.br)

**Silvia Angélica Domingues de Carvalho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7623-8590>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: [silvia.carvalho@unesp.br](mailto:silvia.carvalho@unesp.br)

### **Resumo**

A energia solar é uma fonte de eletricidade renovável que pode ser captada e convertidas por meio de painéis solares, se tornando uma interessante opção para abastecer locais geograficamente isolados. O objetivo deste estudo é realizar uma análise de mercado de sistemas solares fotovoltaicos para uso residencial e comercial, assim como levantar informações sobre a montagem tradicional (fixa) e móvel (rastreamento solar), com ênfase na melhor eficiência energética para uso em áreas rurais remotas no Brasil. Neste sentido, foi analisado o custo estimado e real para a montagem tradicional dos sistemas solares fotovoltaicos dos últimos 10 anos, assim como foi feita uma análise de implantação da montagem móvel em relação ao mercado atual através das metodologias PEST e SWOT. Foi apontado que um sistema solar fotovoltaico móvel com rastreamento solar tende a gerar mais eletricidade que um de montagem fixa, no entanto, seu custo é maior devido aos dispositivos elétricos necessários para realizar a movimentação. Neste caso, informações mais detalhadas sobre custos não foram encontradas na literatura. Foi apontado também que atualmente a implantação de um sistema solar fotovoltaico (montagem fixa) está em torno de R\$ 4,88/Wp para uso residencial e R\$ 3,88/Wp para uso comercial, com uma tendência de redução ao longo dos anos. Para futuros estudos propõem-se o levantamento de custos para a implantação de sistemas solares fotovoltaicos com rastreadores solares de eixo único e de duplo-eixo, no intuito de compreender se a melhor eficiência energética gerada é uma vantagem em relação a seu custo de montagem.

**Palavras-chave:** Rastreador solar; Eficiência energética; Análise PEST; Análise SWOT.

### **Abstract**

Solar energy is a renewable electricity source that can be captured and converted by solar panels, making it an interesting option to supply geographically isolated areas. The aim of this study is to carry out a market analysis of photovoltaic solar systems for residential and commercial use, as well as to gather information about the traditional (fixed) and mobile (solar tracking) structure, with an emphasis on better energy efficiency for use in remote rural areas in Brazil. In this sense, the estimated and real cost for the traditional assembly of photovoltaic solar systems in the last 10 years was analyzed, as well as an analysis of the implementation of mobile assembly in relation to the current market through the PEST and SWOT methodologies. It was pointed out that a mobile solar photovoltaic system with solar tracking tends to generate more electricity than a fixed-mount one, however, its cost is higher due to the electrical devices needed to carry out the movement. In this case, more detailed information on costs was not found in the literature. It was also pointed out that currently the implementation of a photovoltaic solar system (fixed assembly) is around R\$ 4.88/Wp for residential use and R\$ 3.88/Wp for commercial use, with a tendency to decrease over the years. For future studies, it is proposed to survey costs for the implementation of solar photovoltaic systems with single-axis and dual-axis solar trackers, to understand whether the better energy efficiency generated is an advantage in relation to its assembly cost.

**Keywords:** Solar tracker; Energy efficiency; PEST analysis; SWOT Analysis.

## Resumen

La energía solar es una fuente de electricidad renovable que puede ser captada y convertida a través de paneles solares, por lo que es una opción interesante para abastecer lugares geográficamente aislados en Brasil. En este sentido, se analizó el costo estimado y real para el montaje tradicional de sistemas solares fotovoltaicos en los últimos 10 años, así como un análisis de la implementación del montaje móvil en relación al mercado actual a través de las metodologías PEST y SWOT. Se señaló que un sistema solar fotovoltaico móvil con seguimiento solar tiende a generar más electricidad que uno de montaje fijo, sin embargo, su costo es mayor debido a los dispositivos eléctricos necesarios para realizar el movimiento. En este caso, no se encontró en la literatura información más detallada sobre costos. También se señaló que actualmente la implementación de un sistema solar fotovoltaico (montaje fijo) ronda los R\$ 4,88/Wp para uso residencial y R\$ 3,88/Wp para uso comercial, con tendencia a disminuir con los años. Para futuros estudios, se propone relevar costos para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos con seguidores solares de un solo eje y de dos ejes, con el fin de comprender si la mejor eficiencia energética generada es una ventaja en relación a su costo de montaje.

**Palabras clave:** Rastreador solar; Eficiencia energética; Análisis PEST; Análisis SWOT.

## 1. Introdução

A humanidade é dependente das diferentes formas energéticas para a sua sobrevivência. Apesar dos avanços tecnológicos da atualidade a energia elétrica ainda não está presente em todos os locais da sociedade. Cerca de um terço da população mundial não tem acesso a este recurso e uma parcela dos dois terços restantes tem esta demanda atendida de forma precária (ANEEL, 2005). Em virtude da demanda energética mundial crescente, sistemas alternativos de geração de eletricidade são essenciais, uma vez que em grande parte das ocasiões usa-se fontes não-renováveis. A energia solar fotovoltaica é uma fonte energética considerada alternativa, renovável e com alta eficiência energética, devido à incidência solar de determinadas regiões do planeta Terra.

O efeito fotovoltaico é compreendido pela excitação dos elétrons de determinados materiais quando estão na presença de luz solar, de forma que geram uma tensão elétrica. O material com maior propensão a geração de energia elétrica a partir deste fenômeno físico é o silício, conhecido popularmente por constituir as células solares, também chamadas de células fotovoltaicas (GREEN, 2000 apud ANEEL, 2005). A eletricidade gerada por meio dos raios solares é uma das fontes energéticas renováveis que pode suprir a demanda elétrica nacional, colaborando para uma matriz de energia elétrica mais diversificada. Uma vez que, os raios solares possuem potência energética suficiente para manter o planeta Terra com eletricidade por um ano todo, com apenas uma hora da incidência sobre sua superfície.

Uma matriz energética eficiente tende a ser bem distribuída com relação aos seus meios de geração de eletricidade disponíveis. De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR (2022), a Organização das Nações Unidas - ONU em 2016 relatou que o Brasil possui uma matriz elétrica relativamente limpa e baseada em fontes renováveis, em virtude de aproximadamente 53,20% da eletricidade produzida ser oriunda de usinas hidrelétricas, 10,80% de fonte eólica, 9,10% de origem solar/fotovoltaica, 8,00% a partir de gás natural, 7,90% por meio da biomassa e do biogás, 4,30% a partir do petróleo e de combustíveis fósseis, assim como o restante é subdividido entre o carvão mineral, nuclear e a importação de eletricidade (ABSOLAR, 2022).

A matriz elétrica Brasileira diversificada é resultado da criação dos programas “Luz para Todos” e “Mais Luz para a Amazônia”, que aconteceu no ano de 2003 com o objetivo de reduzir o número de pessoas sem acesso à energia elétrica, com foco em diferentes formas de geração de eletricidade. Até o ano de 2017, mais de 3,3 milhões de domicílios foram atendidos, o que beneficiou cerca de 16 milhões de pessoas da área rural (MME, 2021). Com as novas demandas de consumo de energia elétrica a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) prevê que ainda serão gastos R\$ 2,6 bilhões no “Luz para Todos” e R\$ 11,3 bilhões no “Mais Luz para a Amazônia”, que foram ampliados pelo decreto nº 11.111/2022, tal que o “Luz para Todos” ganhou nova vigência até 2026 e o “Mais Luz para a Amazônia” até 2030 (MME, 2022).

Ainda assim, é importante destacar que uma matriz elétrica que em períodos de estiagem pode apresentar uma menor

produção de eletricidade, devido a sua fonte majoritária de produção, é um fator que afeta toda a cadeia de consumo do país, o que pode acarretar uma insuficiência de energia elétrica e no aumento do seu custo. Neste caso, o que ocorre no território brasileiro, para que a demanda seja atendida é o acionamento de fontes de geração de energia elétrica baseadas em combustíveis fósseis, de forma que se culmina em poluir a atmosfera terrestre. Neste sentido, é interessante implantar projetos baseados na geração de eletricidade por meio de fontes que não dependam da água, por conta de estiagem, e de combustíveis fósseis, devido a poluição, como é o caso da solar e eólica.

Neste sentido, e compreendendo a necessidade existente no território nacional, com o decorrer dos anos, assim como com a popularização da energia fotovoltaica, a sua utilização está em constante crescimento. No ano de 2012 a sua capacidade instalada era de 2 MW (Megawatt) já em 2021 esta capacidade foi de 4.632 MW (Megawatt), uma porcentagem de acréscimo na demanda de 99,99% num período de 10 anos (EPE, 2022). Devido às características mencionadas e à sua possibilidade de geração localizada a custos relativamente baixos se comparados a outras fontes energéticas, ela se torna uma importante alternativa para diversificação da matriz elétrica e para geração de energia em regiões mais distantes de centros urbanos, como propriedades agrícolas mais afastadas.

Diante do contexto discutido, o objetivo deste estudo é realizar uma análise de mercado da energia solar fotovoltaica com ênfase em estruturas de base fixa e com dispositivos de rastreamento do movimento solar, de forma a retratar aspectos relacionados aos benefícios de sua aquisição e o impacto que podem trazer, principalmente, ao meio agrícola. Neste sentido, também foi feito o levantamento de informações relacionadas a sistemas solares fotovoltaicos conectados a redes (on-grid) e desconectados (off-grid), no intuito de fornecer maiores informações para a realização da análise de mercado.

## **2. Metodologia**

Este estudo compreende uma revisão de literatura narrativa baseada em materiais técnicos e científicos relacionados ao mercado de energia solar fotovoltaica. Seu conteúdo não contempla todas as investigações científicas ou notas técnicas sobre o tema discutido, porém expressa uma visão qualitativa (exploratória), embasada na literatura contemporânea sobre o mercado de energia solar fotovoltaica e seus diferentes tipos de montagens (tradicional e com rastreamento solar) para uso em áreas rurais geograficamente isoladas, onde a energia elétrica não é fornecida a partir das redes de transmissão. A metodologia seguiu os critérios divulgados pela Biblioteca Professor Paulo de Carvalho Mattos (2015) da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP de Botucatu (São Paulo), Brasil.

### **2.1 Critérios de Seleção do Material**

#### **a) Pesquisa Exploratória**

Esta etapa teve como objetivo a busca por conteúdo em diferentes meios de comunicação (revistas científicas, anais de eventos, dissertações e teses de pós-graduação, manuais científico-tecnológicos e livros). Foi a fase de introdução a leitura sobre o assunto. Para pesquisa de conteúdo utilizou-se as palavras-chave correlacionadas:

- (1) Sistema solar fotovoltaico off-grid.
- (2) Dispositivo de rastreamento solar.
- (3) Mercado de energia solar fotovoltaica.

Para o levantamento inicial dos materiais diferentes fontes de busca foram utilizadas, a fim de se encontrar informações úteis em websites de grandes organizações de energia solar, normas técnicas, atlas, trabalhos de conclusão de curso de graduação, teses e dissertações de pós-graduação e artigos científicos. As seguintes bases de pesquisa foram utilizadas:

- (1) Google ([google.com.br](http://google.com.br)).
- (2) Google Acadêmico ([scholar.google.com.br](http://scholar.google.com.br)).

(3) Science Direct ([sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)).

Nem todo o material encontrado apresentava um conteúdo coerente com os termos de busca. Neste sentido, para compor o próximo passo de seleção das fontes de pesquisa foram selecionados materiais somente dos últimos 10 anos e que atendessem aos critérios anteriores, para que se pudesse determinar o real avanço da área de estudo e do mercado em questão.

### **b) Seleção Analítica**

Nesta etapa, foram selecionados os materiais de interesse para uma leitura mais aprofundada de acordo com uma análise do seu conteúdo. Para a seleção analítica iniciou-se lendo o resumo de trabalhos de conclusão de curso de graduação, dissertações e teses de pós-graduação ou artigos científicos, caso apresentassem alguma informação interessante relacionada ao mercado de energia solar (custos de implantação) ou informassem alguma possibilidade de abastecer eletricamente regiões rurais isoladas (sistemas solares fotovoltaicos off-grid) a leitura prosseguia para o objetivo, metodologia, resultados e conclusões. Quando o material obtido fosse oriundo de websites de grandes organizações de energia solar ou de normas técnicas, livros e atlas, as informações de interesse eram obtidas a partir de busca por meio das palavras-chave apresentadas no item anterior.

### **c) Compilação**

Está foi a etapa onde foram agrupadas todas as informações de interesse, obtidas nos materiais pesquisados, e após a leitura para a criação da discussão do estudo. Foram selecionados os materiais e os métodos mais utilizados no tocante aos sistemas de energia solar fotovoltaica e apresentadas as informações mais relevantes sobre o mercado com base em informações atuais. Para compilar o conteúdo foi decidido primeiro apresentar os custos relacionados a implantação de sistemas solares fotovoltaicos tradicionais para uso residencial e comercial, e posteriormente, foram apresentadas opções para melhorar a eficiência energética através de dispositivos de movimentação solar. No intuito de correlacionar a montagem tradicional com a móvel, foram feitas duas análises (PEST e SWOT), comparando-as e apontando os aspectos técnicos em questão.

## **2.2 Análise Política, Econômica, Social e Tecnológica (PEST)**

O termo PEST é um acrônimo que significa Político, Econômico, Social e Tecnológico. De acordo com Johnson, et al. (2011), este método tem como objetivo realizar uma análise onde seja possível identificar possíveis pontos que indiquem o sucesso ou fracasso de uma estratégia de mercado. Cada área ressalta um ponto onde podem ocorrer fatores de impacto:

- (1) **Política:** aborda o impacto do governo no mercado em questão.
- (2) **Econômica:** aborda aspectos econômicos do mercado em questão.
- (3) **Social:** aborda as mudanças culturais e demográficas no mercado em questão.
- (4) **Tecnológica:** aborda a influência da inovação e internet no mercado em questão.

Neste sentido, cada ponto da análise PEST visou os aspectos do mercado de energia solar fotovoltaica, para que fosse possível determinar como ele se constitui e a forma com que se comporta com relação a projetos de implantação de sistemas de energia solar fotovoltaica em um contexto geral.

## **2.3 Análise de Forças e Fraquezas (SWOT)**

Foi realizada uma análise de planejamento estratégico relacionado as forças e fraquezas (SWOT) após a análise PEST. De acordo com Hofrichter (2017), o objetivo é compreender os pontos fortes e fracos que um projeto possui, assim como identificar as oportunidades e ameaças do mercado. Também sendo possível determinar as forças e fraquezas do setor como um todo. Para esta análise, portanto, foram determinados os quatro quadrantes, onde foram identificados os pontos fortes e os pontos fracos, de sistemas de energia solar fotovoltaicos, assim como as oportunidades e as ameaças presentes no mercado. Esta análise

visou direcionar a melhor forma de tomar decisões em relação a projetos de geração de eletricidade a partir da fonte solar, abrangendo aspectos de mercado e pontos a serem melhorados.

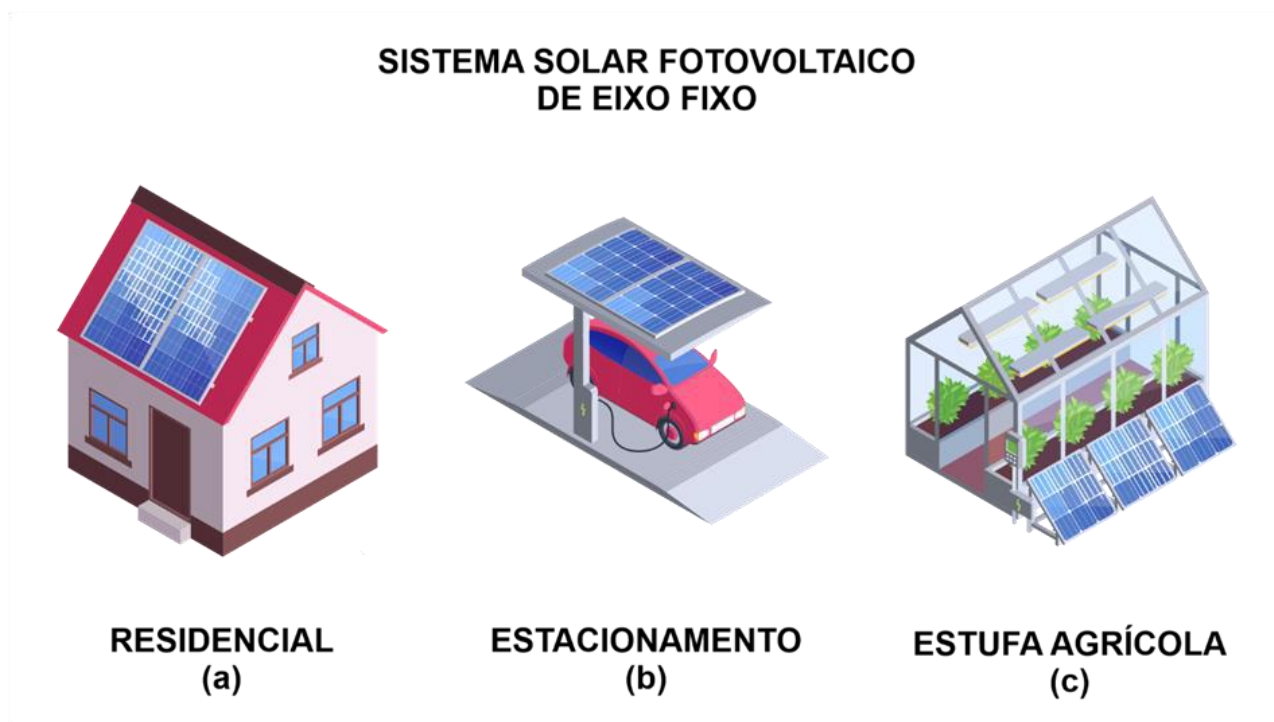
### 3. Sistema Solar Fotovoltaico

De acordo com um estudo realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e publicado na segunda versão do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira, 2017), os dois designs de sistemas solares fotovoltaicos mais utilizados comercialmente no Brasil, são os de base fixa (item 3.1) e com dispositivo de rastreamento solar de eixo único (item 3.2). No entanto, existem os sistemas solares fotovoltaicos com rastreadores de duplo-eixo (item 3.3), considerados mais complexos e de custo mais elevado, sendo, portanto, pouco utilizados no Brasil. Independentemente de ser um sistema solar fotovoltaico de eixo fixo ou móvel, eles são compreendidos por diferentes componentes, como os painéis fotovoltaicos, a estrutura metálica de fixação, o inversor de potência, o controlador de carga e as baterias.

#### 3.1 Sistema Solar Fotovoltaico - Base Fixa

Um sistema solar fotovoltaico de base fixa possui um design onde os painéis solares ficam posicionadas a uma direção imóvel com relação ao Sol. Em geral, no hemisfério sul os painéis solares ficam posicionados ao norte geográfico e no hemisfério norte se posicionam ao sul geográfico, pois são posições que permitem se obter a melhor eficiência energética em um contexto geral (Khalil, et al., 2021). De forma que, deve-se fazer sua instalação em um ambiente não sombreado, para aproveitar o máximo da incidência solar, tal que fique instalado o mais perto possível do local onde será feito o consumo da energia elétrica gerada. Para uso residencial e comercial pode-se fazer a instalação em telhados (Figura 1a) ou estacionamentos (Figura 1b), e no ambiente agrícola devem ficar próximos a produção (Figura 1c).

**Figura 1** - Sistema Solar Fotovoltaico de Base Fixa em: (a) Telhado Residencial; (b) Estacionamento e (c) Próximo a Estufa Agrícola.



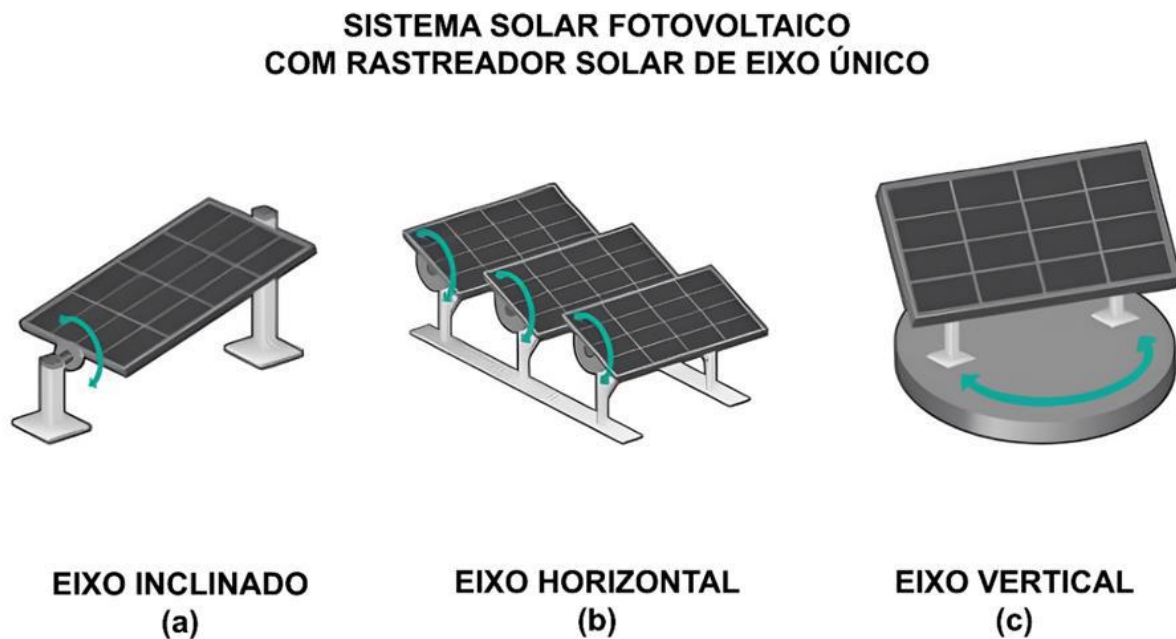
Fonte: Adaptado de [br.freepik.com/autor/macrovector](http://br.freepik.com/autor/macrovector).

### 3.2 Sistema Solar Fotovoltaico - Rastreador de Eixo Único

Um sistema solar fotovoltaico com um dispositivo de rastreamento solar de eixo único compreende um design onde os painéis solares ficam acoplados a uma estrutura que irá acompanhar o movimento do Sol ao longo do dia. Neste sentido, sua estrutura é composta de um eixo com livre rotação, que pode ser posicionada no sentido norte/sul ou leste/oeste. O ponto mais importante de um sistema solar com rastreador de movimento é que os painéis solares irão se movimentar sempre a uma posição perpendicular ao Sol (Godoy, 2019).

Existem, basicamente, três tipos de sistemas solares fotovoltaicos com um eixo único de movimentação, o que possui esse eixo inclinado (Figura 2a), o que compreende o eixo horizontal (Figura 2b) e, por fim, o que é feito de um eixo vertical (Figura 2c). Ambos têm como objetivo principal fornecer movimento aos painéis solares e possuem um custo reduzido, se comparados aos dispositivos de rastreamento solar de duplo-eixo. A grande vantagem deste tipo de dispositivo é o ganho energético, que está entre 30% e 40% (Cortez, 2012).

**Figura 2** - Sistema Solar Fotovoltaico com Rastreador Solar de: (a) Eixo Inclinado; (b) Eixo Horizontal e (c) Eixo Vertical.



Fonte: Godoy (2019).

O maior entrave em se implantar um sistema de energia solar fotovoltaica é que seu percentual de eficiência energética, normalmente, é de 15% a 19% apenas (Machado & Miranda, 2014). Neste sentido, a utilização de um dispositivo de rastreamento solar, que acompanha o movimento do Sol, pode apresentar uma melhora de 30% a 40%, dependendo das condições de céu, com relação a eficiência energética (Cortez, 2012). No entanto, o rastreamento solar com um único eixo tem uma grave falha, ele desconsidera o movimento de declinação do Sol ao longo do ano (Júnior, et al., 2005). Limitando-o a captar uma potência energética menor do que a disponível. Para solucionar este problema, pode-se utilizar um segundo eixo de rastreamento solar, aprimorando seu desempenho (Júnior, et al., 2005).

### 3.3 Sistema Solar Fotovoltaico - Rastreador de Duplo-Eixo

Um sistema solar fotovoltaico com um dispositivo de rastreamento solar de duplo-eixo também compreende um design onde os painéis solares ficam acoplados a uma estrutura que irá acompanhar o sol ao longo do dia, com a diferença de que essa estrutura tem a capacidade de acompanhar, além do movimento diário, a declinação solar ao longo do ano. Portanto, sua estrutura é composta de dois eixos com livre rotação, um utilizado para acompanhar o movimento do nascer ao pôr do Sol e o outro deve posicionar os painéis solares em um ângulo perpendicular para melhor aproveitamento da incidência solar (Figura 3).

Por possuir uma estrutura mais robusta, constituída de dois eixos de movimentação, os sistemas solares fotovoltaicos de duplo-eixo possuem um custo mais elevado para sua implantação. Porém, fornecem uma eficiência elétrica de 36% a 41%, relativamente maiores do que os modelos com base fixa e com somente um eixo de movimentação (Zyrianov, 2017). No entanto, estudos mais aprofundados devem ser realizados, a fim de analisar, continuamente, a eficiência energética de um sistema solar fotovoltaico de duplo-eixo com relação ao de eixo único, no intuito de verificar se a dupla movimentação pode consumir mais eletricidade.

**Figura 3** - Sistema Solar Fotovoltaico com Rastreador Solar de Duplo-Eixo.



Fonte: [energes.com.br/seguidor-solar-tracker](http://energes.com.br/seguidor-solar-tracker).

## 4. Análise de Mercado

O mercado de energia solar fotovoltaica tende a apresentar grande crescimento, uma vez que está atrelado a uma fonte energética renovável e limpa. Outro fator que influencia a evolução deste mercado, é a necessidade de tornar a matriz elétrica Brasileira mais diversificada e menos dependente da fonte hídrica. Seguindo este raciocínio a Organização das Nações Unidas -

ONU colocou como prioridade nacional da Agenda 2030 o fomento financeiro para ampliação da oferta e produção energética, com ênfase em fontes renováveis (ONU, 2016). Para tanto, para se realizar uma análise de custos primeiro, deve-se buscar informações sobre o modelo de sistema de energia solar fotovoltaica que se deseja implantar com relação ao armazenamento da eletricidade produzida, antes de se definir sua estrutura.

Neste sentido, pode-se optar por dois modelos de sistemas solares fotovoltaicos, o on-grid, que tem a sua conexão feita diretamente na rede de transmissão elétrica da concessionária, e o off-grid, que é desconectado da rede de transmissão elétrica e possui funcionamento autônomo. O modelo on-grid permite gerar a eletricidade necessária para o consumo, de forma que o seu excedente (não consumido) é conduzido a concessionária elétrica, onde é repassado para outros consumidores e se torna uma espécie de crédito. O modelo off-grid é descentralizado, ou seja, não está conectado à rede elétrica, sendo assim necessita de baterias para armazenar a eletricidade produzida. Boso, et al. (2015), realizaram um levantamento de custos dos dois modelos com relação ao uso residencial (Tabela 1).

**Tabela 1** - Custo de Sistemas Solares Fotovoltaicos On-grid e Off-Grid.



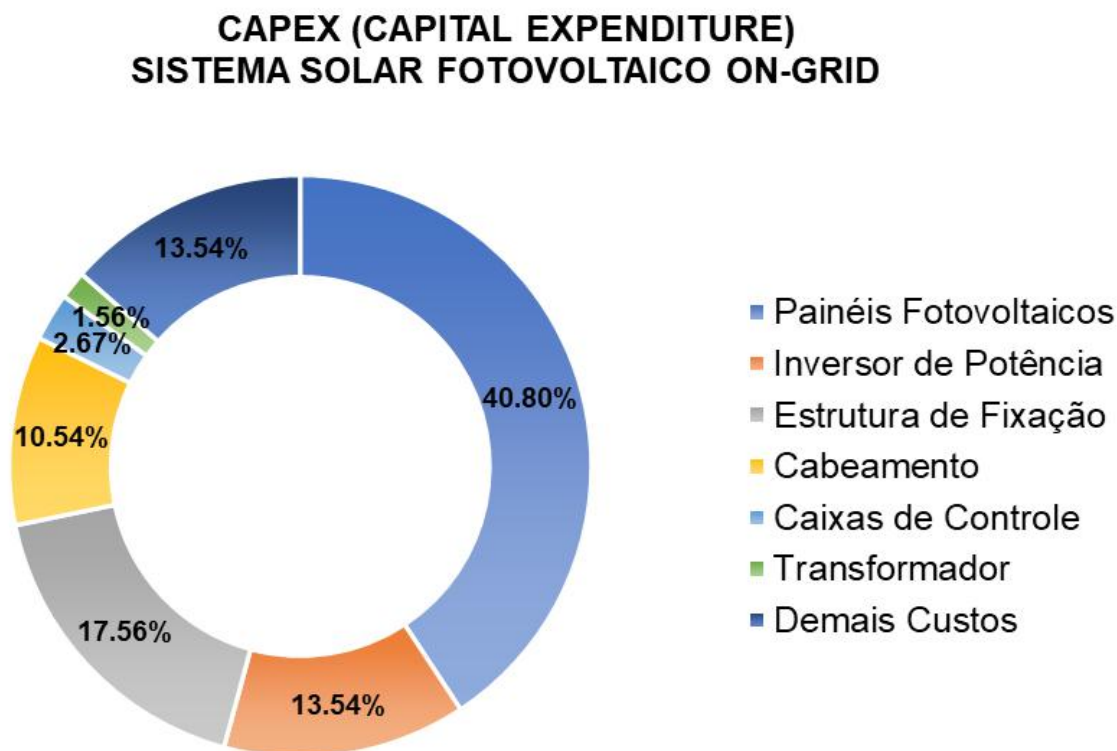
Fonte: Adaptado de Boso, et al. (2015).

Quando se faz uma análise do mercado é necessário avaliar o CAPEX (Capital Expenditure), que é o capital inicial de um determinado investimento, ou seja, tudo o que será investido de imediato no sistema solar fotovoltaico. Com o objetivo de analisar onde a maior parte de investimento seria direcionada, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR (2019) realizou um estudo que demonstra graficamente as porcentagens de investimentos para cada item de um sistema solar



fotovoltaico on-grid (Figura 4). De forma que se pode perceber que a maior parte dos custos está relacionada a parte eletroeletrônica (painéis solares e inversor de potência), o que é esperado quando se tem um sistema solar fotovoltaico de base fixa, no entanto, quando se tem um rastreador solar, a maior parte dos gastos é estrutural.

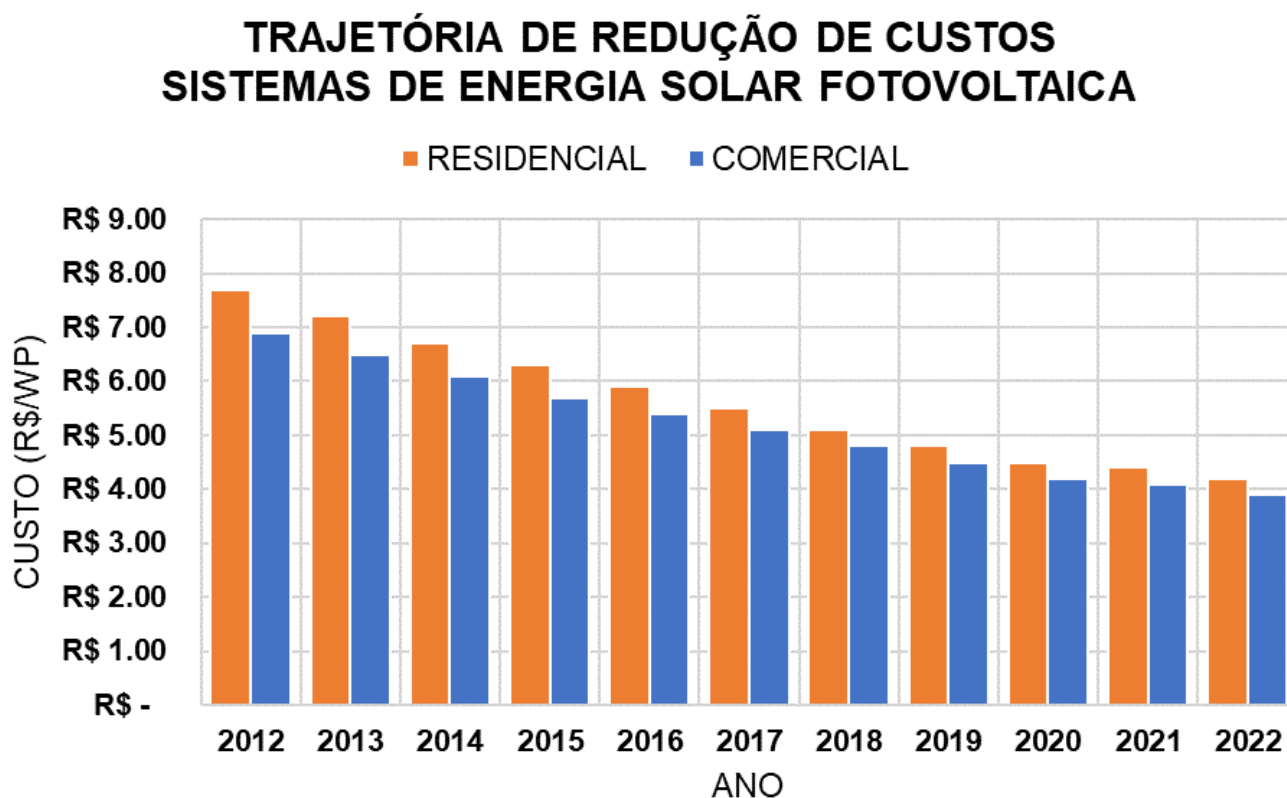
**Figura 4** - Rateio Proporcional do CAPEX de um Sistema Solar Fotovoltaico.



Fonte: Adaptado de ABSOLAR (2019).

Em uma análise realizada pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2014), estimou-se que o custo de sistemas solares fotovoltaicos de base fixa no Brasil, em 2012, quando houve uma grande adesão a esta fonte, estava próximo de R\$ 7,70/Wp com relação ao uso residencial e aproximadamente R\$ 6,90/Wp para uso comercial. Neste mesmo estudo foi realizada uma estimativa de preço para os anos seguintes, conforme pode ser visto na Figura 5, onde obteve-se uma estimativa de R\$ 4,20/Wp para sistemas solares fotovoltaicos de uso residencial e R\$ 3,90/Wp para uso comercial no ano de 2022, 10 anos após o primeiro dimensionamento dos custos. Portanto, pode-se perceber uma redução de aproximadamente 45% do preço na categoria residencial e 43% na comercial, nas estimativas para esse período.

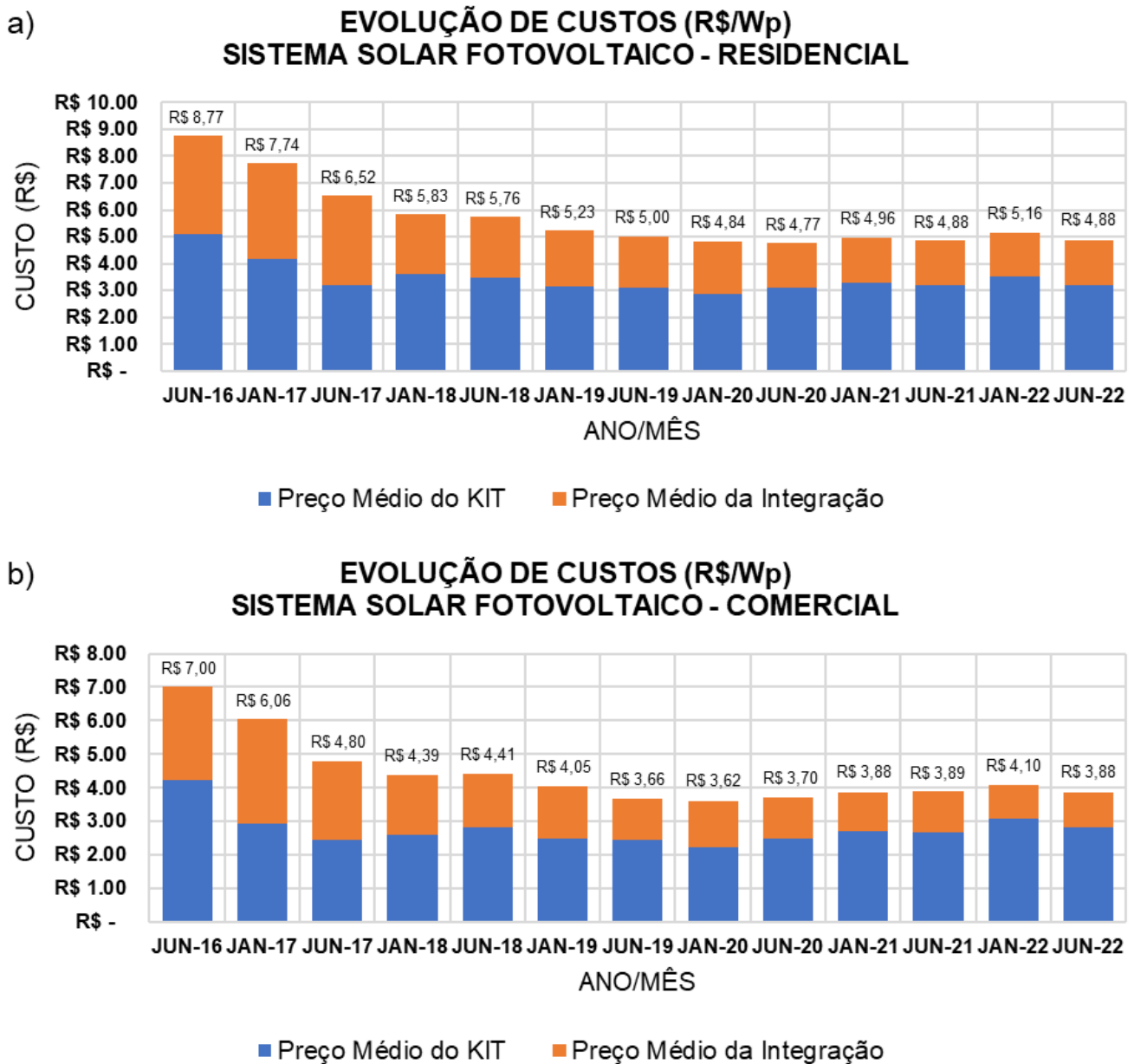
**Figura 5** - Trajetória de Redução de Custos Estimados de Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de EPE (2014).

Em um estudo realizado pelo Greener (2022) foi constatado que sistemas solares fotovoltaicos residenciais apresentam, efetivamente, um valor de R\$ 4,88/Wp no ano de 2022, estipulados de acordo com a produtividade de eletricidade do local, o custo médio do sistema solar fotovoltaico e a tarifa das concessionárias locais de eletricidade. Ou seja, o valor médio do kit de instalação de um sistema solar fotovoltaico e a sua integração com relação ao atendimento residencial e comercial, assim como é possível ver na Figura 6a e Figura 6b, respectivamente. Tais informações foram levantadas com base em custos divulgados por organizações que atuam no mercado de distribuição de eletricidade por meio de sistemas solares fotovoltaicos.

**Figura 6** - Evolução dos Preços de Sistemas Solares Fotovoltaicos Comerciais.



Fonte: Adaptado de Greener (2022).

Como foi abordado, a trajetória de valores reais obtidas pela Greener (2002) está coerente com relação as estimativas fornecidas pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2014). Foi possível constatar, portanto, que em 2022 o custo real para a implantação de um sistema solar fotovoltaico residencial é de R\$ 4,88 por Wp e residencial é de R\$ 3,88 por Wp. É importante destacar que este custo é influenciado diretamente pela dimensão do sistema solar fotovoltaico e a sua forma de instalação. Ou seja, para se estimar corretamente o valor a ser investido em um sistema solar fotovoltaico, inicialmente é necessário realizar o dimensionamento da potência elétrica necessária, que pode ser feito através da Equação 1, onde é determinado o potencial de geração de energia elétrica (E) (Silva, 2015).

$$E = P_{iv} * H_{TOT} * n * PR \quad (1)$$

Onde:

$P_{iv}$  é a potência instalada em watt pico (Wp).

$H_{TOT}$  é a média mensal de irradiação solar no plano inclinado (kWh/m<sup>2</sup>/mês).

$n$  é o número de dias no mês.

$PR$  é o performance ratio.

Além dos parâmetros descritos para se obter o potencial de geração de energia elétrica (Equação 1), é necessário compreender também que os painéis solares fotovoltaicos sofrem uma degradação natural com o passar do tempo, uma vez que ficam em ambientes externos expostos aos efeitos climáticos (sol, chuva e outras intempéries). Neste sentido deve-se determinar um valor de 0,75% de degradação anual constante, em casos em que se queira avaliar a durabilidade de um sistema solar fotovoltaico (Silva, 2015). Pensando por outra perspectiva, pode-se também dimensionar sistemas solares fotovoltaicos para serem utilizados em processos agroindustriais de pequeno, médio e grande porte, no sentido de gerar eletricidade para sistemas agrícolas de irrigação de culturas, bombeamento d'água, debulha ou moagem.

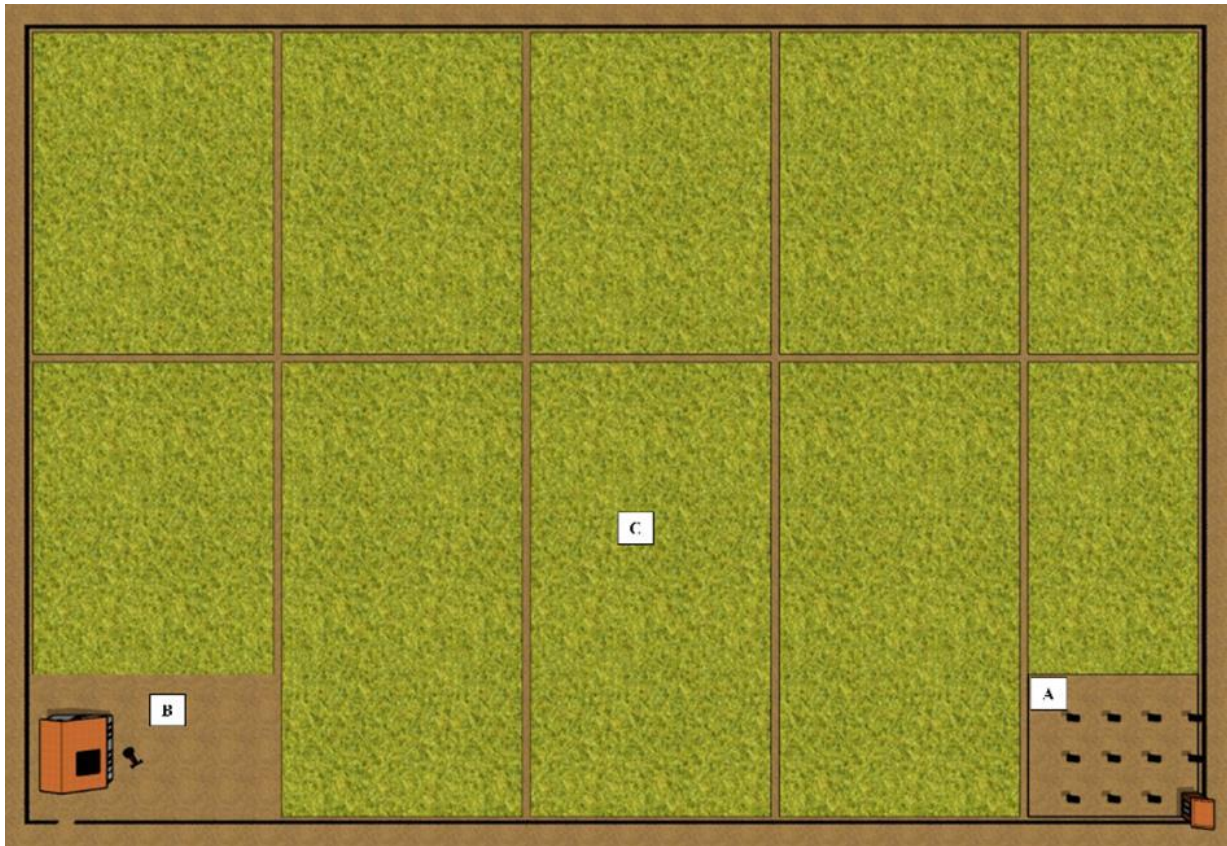
## 5. Sistemas Solares Fotovoltaicos em Áreas Rurais

Os sistemas de energia solar fotovoltaica possuem seus pontos positivos e negativos. Neste sentido, analisar o que é viável para satisfazer as necessidades do consumidor é um ponto essencial na gestão do projeto. Em um ambiente agrícola, principalmente, geograficamente isolados dos meios tradicionais de transmissão de eletricidade, a solução para se ter acesso a esse recurso é a implantação de um sistema solar fotovoltaico desconectado da rede elétrica (off-grid). Neste caso, uma proposta interessante é projetar dois sistemas solares fotovoltaicos, um deles em um ambiente preparado (Figura 7a) para uso nos processos de cultivo (Figura 7b), onde pode-se avaliar o uso de estruturas de rastreamento solar para melhorar a eficiência energética, e o outro em um ambiente tradicional para uso residencial (Figura 7c).

De acordo com Calca, et al. (2021), além do uso residencial tradicional, pode-se utilizar a eletricidade produzida por sistemas de energia solar fotovoltaica, em ambientes rurais geograficamente isolados, para:

- (a) Alimentação elétrica de bombas d'água;
- (b) Irrigação agrícola de precisão;
- (c) Moagem, debulha e outras atividades do gênero;
- (d) Controle térmico de ambientes;
- (e) Desinfecção de água e outros produtos agrícolas.

**Figura 7** - Área Rural com Sistemas Solares Fotovoltaicos Off-Grid.



Legenda:

- (a) Área destinada a implantação do sistema solar fotovoltaico para alimentar os processos agrícolas.
- (b) Área de moradia com um sistema solar fotovoltaico para produção de eletricidade residencial.
- (c) Área de plantação agrícola.

Fonte: Autores.

Neste caso, com relação aos dispositivos de rastreamento solar, Hammoumi, et al. (2022) citam ser uma das melhores maneiras de aumentar a produção de energia elétrica, com um ganho em eficiência energética de 10% a 50% em relação aos sistemas solares fotovoltaicos tradicionais (base fixa). No entanto, esse ganho de eficiência energética depende, principalmente, da localização (latitude) e das condições climáticas da região em que se deseja realizar a instalação. Neste sentido, uma investigação mais completa deve ser realizada antes de se projetar a instalação do sistema solar fotovoltaico com o dispositivo de rastreamento solar. No melhor dos cenários, julga-se necessário a condução de experimentos comparativos para que se possa ter dados e resultados palpáveis para se tomar tal decisão.

No caso de um sistema solar fotovoltaico off-grid usado para alimentar processos agrícolas, em um local geograficamente isolado, seria necessário o dimensionamento e a implantação de um conjunto de baterias, no caso em que a montagem fosse projetada para ficar em um local apenas. Neste sentido, necessitaria ser projetada uma construção física onde as baterias pudessem ser abrigadas em relação às intempéries climáticas. Porém é válida a elaboração de um projeto móvel, que pudesse ser usado onde há maiores necessidades. Para o uso residencial tradicional poderia ser projetado uma implantação no telhado da construção e o conjunto de baterias poderia ser alocado na laje (Figura 8), ou até mesmo alocado próximo a residência, em um local onde não seja projetada sombra alguma.

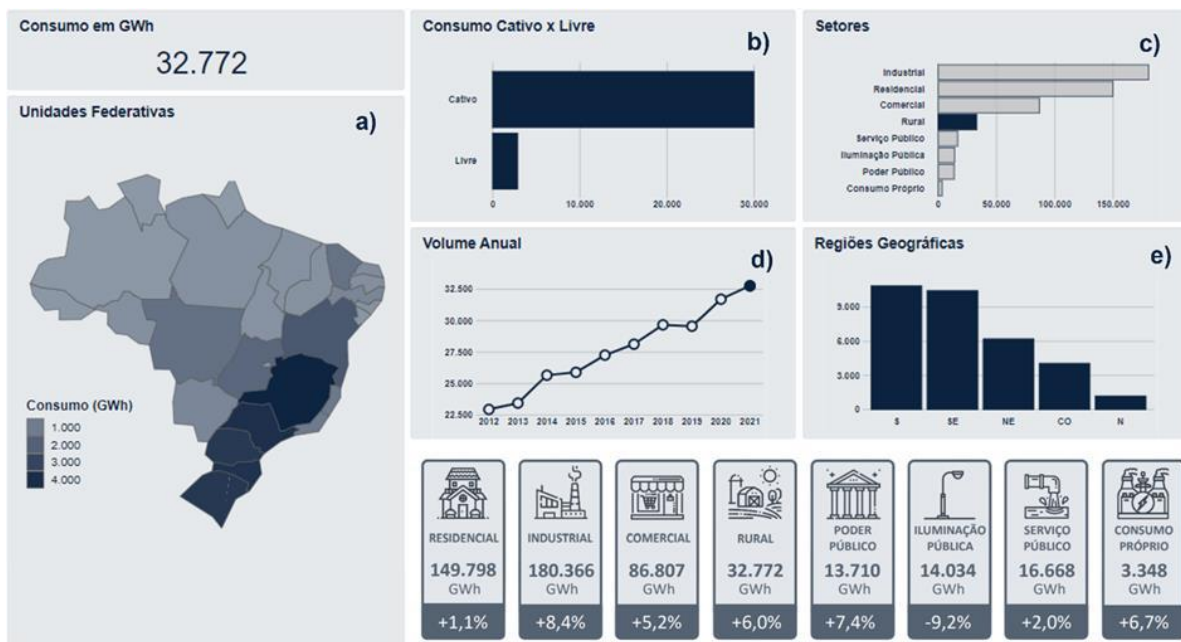
**Figura 8 - Sistema Solar Fotovoltaico Residencial.**



Fonte: Autores.

Deste ponto de vista, a necessidade de se usar sistemas solares fotovoltaicos off-grid, com ou sem dispositivos de rastreamento solar, no meio rural tem se tornado cada vez mais evidente. De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2022), o meio rural é o quarto setor que mais consome eletricidade em território nacional, ficando atrás dos setores industriais, residenciais e comerciais, apenas. Sendo assim, constatou-se que o consumo no meio rural Brasileiro atualmente está em 32.772 GW/h por ano, o que indica um aumento de aproximadamente 30% em relação aos últimos 10 anos (Figura 9d), também foi possível perceber que as maiores demandas se concentram nas regiões Sul e Sudeste do país (Figura 9e).

**Figura 9 - Informações Sobre o Consumo de Eletricidade no Meio Rural no Brasil.**



Fonte: Adaptado de EPE (2022).

Um outro fator que provavelmente irá auxiliar na adesão de sistemas solares fotovoltaicos no meio rural é a suspensão

do benefício nas tarifas de unidades consumidoras de energia elétrica com classificação rural, por meio do decreto federal 9.642 de 2018 (BRASIL, 2022), que iguala a tarifa da classe residencial urbana com a rural. Diante deste cenário, os produtores rurais tendem a buscar mais investimentos em matrizes renováveis e que possam trazer alguma redução de custos a médio e longo prazo. Pois dentro do custo operacional das propriedades rurais a energia elétrica representa um dos gastos mais elevados, tal que consumir eletricidade produzida por uma fonte energética renovável agregará benefícios para a transição rural sustentável (Micheletti & Corrêa, 2022).

## 6. Análise Política, Econômica, Social e Tecnológica (PEST)

No sentido de gerar uma análise sobre a instalação de sistemas solares fotovoltaicos em ambientes rurais, principalmente aqueles isolados sem conexão com a rede elétrica tradicional, e levando em consideração os pontos da análise PEST (Política, Econômica, Social e Tecnológica), foi possível identificar os seguintes aspectos:

- (1) **Política:** Em sistemas solares fotovoltaicos on-grid é necessário a análise e a aprovação da concessionária elétrica para sua implantação, pois devem ser conectados à rede de transmissão elétrica.
- (2) **Econômica:** O gargalo relevante nos sistemas solares fotovoltaicos, é referente as formas de financiamento, já que na sua maioria, os juros e taxas elevadas tornam a sua aquisição inviável em determinados casos. Financiamentos de 25% a 50% podem ser viáveis financeiramente, no entanto, acima deste percentual deve-se analisar o custo-benefício do empreendimento.
- (3) **Social:** A tecnologia de geração de eletricidade solar fotovoltaica não necessita que os consumidores tenham conhecimento sobre o assunto, já que se trata de um sistema elétrico independente. Além disso tem impacto direto na grade energética Brasileira, já que supre a necessidade de eletricidade sem o uso de fontes não renováveis e que causam a poluição atmosférica.
- (4) **Tecnológica:** O mercado possui sistemas solares fotovoltaicos de base fixa, que apresentam um fator de geração de eletricidade já estabelecido de acordo com a localidade e diferentes informações já conhecidas, o que facilita a sua adesão.

## 7. Análise de Forças e Fraquezas (SWOT)

A fim de levantar as principais forças e fraquezas, internas e externas, referente a sistemas solares fotovoltaicos, seja ele de base fixa, assim como de eixo único ou duplo de rastreamento solar, e levando em consideração os pontos de análise SWOT (Strengths, Weakness, Opportunities e Threats), foi possível identificar os seguintes aspectos:

- (1) **Strengths (Força):** Sistemas solares fotovoltaicos são uma das principais alternativas para a redução da demanda energética de hidroelétricas, pois se caracteriza por ser renovável e apresenta uma eficiência energética viável em diferentes localidades Brasileiras. Por ser independente da rede elétrica tradicional, pode ser instalado em locais isolados, aonde a eletricidade não chega.
- (2) **Weakness (Fraquezas):** A degradação dos materiais de captação solar ao decorrer dos anos, devido as intempéries, é inevitável, pois estão constantemente exposto aos efeitos climáticos. Sistemas solares fotovoltaicos fixos são menos eficientes do que aqueles com rastreamento solar, pois não ficam expostos a radiação solar em todos os períodos do dia, o que reduz seu nível de produtividade.
- (3) **Opportunities (Oportunidades):** Explorar um modelo com placas solares e dispositivos eletrônicos que aumentem a sua eficiência, a partir de materiais de custo reduzido, para a geração de energia solar fotovoltaica

com ênfase na agricultura familiar e em locais geograficamente isolados pode ser uma oportunidade de levar eletricidade aonde ela não chega.

- (4) **Threats (Ameaças):** A produção em grande escala, de sistemas solares fotovoltaicos fixos por usinas solares e grandes produtores desta forma de eletricidade, pode ser uma grande concorrência a outros tipos de dispositivos com rastreadores do movimento solar, já que em grande escala uma estrutura fixa pode ser vista como mais vantajosa, devido a diferentes aspectos das estruturas móveis.

## 8. Considerações Finais

O uso de fontes energéticas renováveis é crescente em todo o mundo. No Brasil o objetivo principal é que a matriz elétrica seja mais diversificada, não dependendo apenas de uma forma de geração de eletricidade. Para isso, o investimento em soluções que façam com que as outras tecnologias evoluam é um ponto primordial para o avanço da sociedade. Na agricultura o uso da energia elétrica é parte fundamental para a sobrevivência familiar e para produção agrícola. Em locais onde o acesso a eletricidade se torna difícil o uso de um sistema solar fotovoltaico off-grid é uma das soluções para que os agricultores possam sobreviver, assim como é a meta da Agenda 30 da Organização das Nações Unidas - ONU. O gargalo dos sistemas solares fotovoltaicos são as suas formas de financiamento, por se tratar de um CAPEX alto, e um retorno gradual no decorrer dos anos, financiá-lo inteiramente faz com que os juros demorem a serem pagos e o custo-benefício seja adiado.

Neste estudo foram levantadas as características de sistemas solares fotovoltaicos com movimentação a partir de rastreadores solares de eixo único e de duplo-eixo. Esses dispositivos possuem como objetivo principal tornar o sistema solar fotovoltaico energeticamente mais eficiente, porém a sua implantação demanda mais custos devido à complexidade da estrutura. O valor de um sistema solar fotovoltaico tradicional é afetado, em sua maior parte, pela quantidade de eletricidade a ser gerada, ou seja, a quantidade e o valor dos painéis solares é o que mais tem impacto. Para solucionar essa questão, um sistema solar fotovoltaico com rastreamento solar pode gerar mais energia elétrica com a mesma quantidade de recursos de uma estrutura tradicional, pois irá melhorar os ângulos de incidência dos raios solares, no entanto, deve-se estudar melhor seus aspectos construtivos, a fim de não elevar demasiadamente os custos estruturais do projeto.

Para estudos futuros sugere-se que seja feita uma revisão de literatura sistemática, onde possa-se obter e analisar maiores informações referentes a sistemas solares fotovoltaicos tradicionais (fixos) e móveis (rastreamento solar) com maiores detalhes. Este estudo apresentou informações que permitiram constatar que sistemas solares fotovoltaicos com dispositivos de rastreamento solar de eixo único e de duplo-eixo são energeticamente mais eficientes, no entanto, são poucas as informações relacionadas a seus custos, seja para uso residencial ou comercial, pois esse tipo de montagem ainda não é amplamente adotada. Sugere-se, ainda, para futuros estudos, que se possa obter a eficiência energética de ambos os sistemas solares fotovoltaicos levando em consideração que uma montagem com rastreamento solar também consome uma parcela da energia elétrica produzida, um aspecto que é estritamente discutido, principalmente, na literatura técnicas-científica nacional.

## Referências

- ABSOLAR. (2022). *Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no mundo*. São Paulo, Brasil: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR. <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>.
- ABSOLAR. (2019). *Obter subsídios para a Análise de Impacto Regulatório - AIR sobre o aprimoramento das regras aplicáveis à minigeração distribuída (Resolução Normativa nº 482/2012)*. São Paulo, Brasil: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR.
- ANEEL. (2005). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília, Brasil: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 6 ed.
- Biblioteca Professor Paulo de Carvalho Mattos. (2015). *Tipos de Revisão de Literatura*. Botucatu, Brasil: Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP. <https://www.fca.unesp.br/#!/biblioteca/normas-tecnicas/tipos-de-revisao-de-literatura/>.
- Boso, A. C. M. R. et al. (2005). Análise de Custos dos Sistemas Fotovoltaicos On-grid e Off-grid no Brasil. *Revista Científica: ANAP Brasil*, 8 (12). 57-66.



- BRASIL. (2022). *Decreto nº 9.642 de 27 de Dezembro de 2018. Altera o Decreto nº 7.891, de 23 de janeiro de 2013, para dispor sobre a redução gradativa dos descontos concedidos em tarifa de uso do sistema de distribuição e tarifa de energia elétrica*. Brasília, Brasil: Diário Oficial da União, 249 (Seção 1).
- Calca, M. V. C. et al. (2021). A perspective on thermal application and the direct conversion of solar energy in rural areas in Brazil. *Research, Society and Development*, 10 (6), e9810615610. <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15610>.
- Cortez, R. J. M. (2012). *Sistema de Seguimento Solar em Produção de Energia Fotovoltaica*. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia do Porto - FEUP, Dissertação de Mestrado, 94 p.
- EPE. (2017). *Nota Técnica DEA 19/14: Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil Condicionantes e Impactos*. Empresa de Pesquisa Energética - EPE.
- EPE. (2022). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro, Brasil: Empresa de Pesquisa Energética - EPE. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>.
- Godoy, L. G. K. (2019). *Projeto de um Rastreador Solar Digital de um Eixo Comparado a um Rastreador Analógico*. Rio de Janeiro, Brasil: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, 71 p.
- GREENER. (2022). *Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2022 do Mercado Fotovoltaico*. São Paulo, Brasil: GREENER Consultoria. Retrieved Oct 01, 2022, from <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-1-semester/>.
- Hammoumi, A. E. et al. (2022). Solar PV energy: From material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power output of PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels. *Energy Reports*, 8, 11992-12010.
- Hofrichter, M. (2017). *Análise SWOT: Quando usar e como fazer*. Simplíssimo (e-Book), 38 p.
- Johnson, G. et al. (2011). *Fundamentos da Estratégia*. Bookman, 366 p.
- Júnior, A. C. L. et al. (2020). Rastreador solar e comparação de eficiência na geração fotovoltaica. *Revista Científica Multidisciplinar - Núcleo do Conhecimento*, 8 (13), 44-62.
- Khalil, F. A. et al. (2021). Solar Tracking Techniques and Implementation in Photovoltaic Power Plants: a Review. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences*, 54, 231-241.
- Machado, C. T.; Miranda, F. S. (2014). Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual de Química*, 7 (1), 126-143.
- Micheletti, D. H.; Corrêa, A. F. (2022). O Uso da Energia Solar Fotovoltaica Como Incentivo ao Desenvolvimento Rural Sustentável. *Conjecturas*, 22 (14), 650-670.
- MME. (2022). *Programa de Eletrificação Rural: Sobre o Programa*. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia - MME. Retrieved Sept 28, 2022, from <https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/programa-de-eletrificacao-rural/sobre-o-programa>.
- MME. (2022). *Decreto amplia vigência dos Programas Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia*. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia - MME. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/decreto-amplia-vigencia-dos-programas-luz-para-todos-e-mais-luz-para-a-amazonia-1>.
- ONU. (2016). *Marco de Parceria das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, Brasil: Organização das Nações Unidas - ONU.
- Pereira, E. B. et al. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. São José dos Campos, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2 ed.
- Silva, G. T. M. M. (2015). *Dimensionamento e Análise de Viabilidade Econômica de Usina Fotovoltaica em Nova Iguaçu - RJ*. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, 116 p.
- Zyrianov, F. (2017). *Diseño y Implementación del Sistema de Control de un Seguidor Solar*. Madrid, Espanha: Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, 106 p.