

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: Análise Bibliográfica da Sustentabilidade e Viabilidade Econômica em Pequenos Projetos

Maurício Dias
Graduando em Automação Industrial pela Fatec Bauru
email: mauricio.dias3@fatec.sp.gov.br

Orientador: Ralf Felipe Dworak
Especialista de Engenharia de Manutenção e Docente na Fatec Bauru
email : ralf.dworak@fatec.sp.gov.br

RESUMO

A crescente demanda por fontes de energia sustentáveis e a necessidade de reduzir os custos com eletricidade impulsionam o interesse por sistemas de energia solar fotovoltaica, que se apresentam como uma alternativa viável para pequenas instalações, como residências e pequenos negócios. Este artigo tem como objetivo geral analisar a viabilidade econômica e a sustentabilidade de sistemas de energia solar fotovoltaica em pequenos projetos, avaliando sua aplicabilidade em residências e pequenos negócios. Para isso, é revisado e sintetizado o conhecimento existente sobre o desempenho econômico dos sistemas fotovoltaicos, identificando fatores que impactam a rentabilidade. Além disso, investigam-se os benefícios ambientais associados à adoção da energia solar, como a redução da pegada de carbono e a conservação dos recursos naturais. Também são apresentadas diretrizes para a implementação de sistemas solares em pequenas instalações, com base na análise da literatura disponível, considerando aspectos financeiros, técnicos e ambientais que maximizam tanto a viabilidade econômica quanto a sustentabilidade dos sistemas fotovoltaicos em pequena escala. A metodologia utilizada consiste em uma revisão bibliográfica abrangente, com seleção e análise de artigos científicos, livros e documentos técnicos relevantes, proporcionando uma compreensão aprofundada dos fatores que influenciam a viabilidade econômica e os benefícios de sustentabilidade associados à adoção da energia solar fotovoltaica em pequenos projetos.

Palavras-chave: energia solar; viabilidade; sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes de energia sustentáveis e a necessidade de reduzir custos com eletricidade têm impulsionado o interesse por sistemas solares fotovoltaicos. Esses sistemas se destacam como alternativas viáveis e sustentáveis, especialmente para pequenas instalações, como residências e pequenos negócios. Apesar do reconhecimento dos benefícios ambientais da energia solar, ainda existem dúvidas e desafios sobre a viabilidade econômica e o impacto sustentável dessa tecnologia em escala reduzida.

Este trabalho busca responder à questão: como garantir que a adoção de sistemas de energia solar fotovoltaica em pequenas instalações seja economicamente viável e ambientalmente sustentável? Com isso, o estudo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica e a sustentabilidade de sistemas fotovoltaicos em pequenos projetos, avaliando sua aplicabilidade em residências e pequenos negócios.

Para alcançar essa finalidade, o artigo revisa e sintetiza o conhecimento existente sobre o desempenho econômico de sistemas fotovoltaicos em projetos de pequena escala, identificando os principais fatores que impactam a rentabilidade desses sistemas. A pesquisa visa, ainda, investigar os benefícios ambientais associados ao uso da energia solar, como a redução de carbono e a conservação de recursos naturais, evidenciando seu potencial de contribuição para a sustentabilidade global.

A relevância desta pesquisa está fundamentada na importância crescente das energias renováveis diante das mudanças climáticas e da escassez de recursos naturais. A energia solar fotovoltaica é uma das fontes mais limpas, com grande potencial para mitigar emissões de carbono e promover a sustentabilidade global. No entanto, falta uma análise sistemática da viabilidade econômica e dos benefícios sustentáveis de sistemas solares em pequenos projetos, como residências e pequenas empresas.

Esse estudo se justifica, então, pela necessidade de fornecer uma base sólida de conhecimento que apoie as decisões de pequenos consumidores na adoção da energia solar, além de contribuir para a formulação de políticas públicas e incentivos específicos que possam tornar essa tecnologia mais acessível e vantajosa em menor escala. O método escolhido para este estudo consiste em uma pesquisa bibliográfica abrangente, com revisão da literatura, por ser uma abordagem que possibilita uma compreensão aprofundada do tema. Esse método permite reunir e analisar informações de diversas fontes acadêmicas, promovendo uma visão ampla e fundamentada sobre o assunto estudado.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos em Pequenos Projetos

A viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em pequenos projetos tem sido amplamente discutida na literatura. Estudos destacam que a análise dos custos iniciais e do retorno sobre o investimento (ROI), além de fatores como localização, eficiência do sistema, incentivos públicos e tarifas de energia, são fundamentais para a avaliação dessa viabilidade (Cavalcanti; Silva A.; Silva C., 2023). De acordo com

Azevedo (2020), a rentabilidade desses sistemas depende de múltiplos fatores, incluindo a localização geográfica e as políticas de incentivo.

A literatura recente tem enfatizado que, ao comparar os custos de geração de energia solar com outras fontes energéticas, a energia fotovoltaica se revela uma alternativa financeiramente vantajosa em determinados contextos. Azevedo (2020) destaca a importância de se analisar a eficiência do sistema fotovoltaico e o impacto das políticas públicas, além da comparação com os custos das fontes convencionais de energia, como a energia elétrica das concessionárias.

Pesquisas como Silva Filho *et al.* (2016), indicam que a análise da viabilidade econômica deve considerar o efeito da localização e eficiência do sistema sobre os custos e o retorno financeiro. A comparação entre as tarifas de energia solar e outras fontes energéticas é essencial para avaliar a atratividade econômica dos projetos fotovoltaicos, uma vez que tarifas mais altas de energia elétrica aumentam a competitividade da energia solar.

Estudo realizado por Moreira, Bastos e Santos (2018) confirma que, embora o investimento inicial em sistemas fotovoltaicos seja elevado, a durabilidade superior e a ausência de peças móveis tornam esses sistemas mais vantajosos que alternativas como os aerogeradores. O estudo demonstra que, com uma potência de 2 kWp, o sistema fotovoltaico apresenta melhores resultados financeiros, como no Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Anuidade Uniforme Equivalente (AUE) e Custo Anual Equivalente (CAE), indicando que o investimento se torna viável a partir do sexto ano de operação, com crescente acumulação de valor até o final de sua vida útil. A análise do Payback confirma que o sistema fotovoltaico recupera seu investimento entre o quinto e o sexto ano, reforçando a rentabilidade de projetos de pequeno porte.

Estudos como o de Budel (2017) também contribuem para a compreensão da viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos, com ênfase no dimensionamento adequado dos sistemas para pequenas instalações residenciais. O autor sugere que o equilíbrio entre a capacidade instalada e o consumo de energia é crucial para evitar desperdícios e garantir a rentabilidade do projeto, especialmente em cenários onde a geração de energia excedente não é financeiramente vantajosa.

No entanto, Santos, Souza e Dalfior (2016) apontam que, em cenários onde o fluxo de caixa só se torna positivo após o 12º ano, os indicadores econômicos como a TIR e o VPL podem não ser suficientemente atraentes para justificar o investimento em pequenos projetos. A análise desses estudos indica que, apesar do potencial de ganhos a longo prazo, os custos iniciais e de manutenção comprometem a viabilidade econômica de alguns projetos.

Uma revisão mais aprofundada da literatura, como a realizada por Lana *et al.* (2015), confirma que as políticas de incentivo desempenham um papel crucial na melhoria da viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos. Subsídios, isenções fiscais e outros incentivos contribuem para a redução dos custos iniciais de instalação, tornando os projetos fotovoltaicos mais acessíveis, especialmente para pequenos negócios e residências.

O trabalho de Ramos, Durante e Callejas (2017), reforça a ideia de que a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos depende de uma análise detalhada de múltiplos fatores, incluindo a localização, as tarifas de energia e os custos iniciais. O estudo destaca que, em determinadas circunstâncias, a energia solar pode ser uma solução competitiva e atraente, mesmo considerando as variações de custo entre diferentes fontes de energia.

De modo geral, a literatura converge para a ideia de que a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em pequenos projetos é influenciada por um conjunto de fatores interligados. O impacto de incentivos fiscais, tarifas de energia e a eficiência do sistema são elementos-chave para garantir um bom retorno financeiro, tornando a energia solar uma alternativa competitiva, especialmente em contextos regulatórios favoráveis (Veloso, 2022; Lopes; Bastos, 2022; Nunes-Villela *et al.*, 2017).

A Imagem 1 apresenta um exemplo de sistema solar fotovoltaico instalado em uma residência, ilustrando a aplicabilidade prática dessa tecnologia em pequenos projetos.

Imagem 1 – Sistema solar fotovoltaico instalado em uma residência



Fonte: PNGTREE (2024)

A instalação de painéis solares reduz os custos com eletricidade, diminui a pegada de carbono e oferece maior autonomia energética, gerando benefícios financeiros a longo prazo.

2.2 Benefícios Ambientais da Energia Solar

A literatura tem enfatizado os benefícios ambientais da energia solar, especialmente no que diz respeito à sua capacidade de mitigar as mudanças climáticas e reduzir a pegada de carbono. Vianna (2023) destaca que a adoção dessa fonte de energia contribui para a conservação dos recursos naturais, como água e biodiversidade, substituindo fontes mais poluentes. O estudo apresenta casos exemplares de como a implementação de sistemas solares em pequenos projetos, no Rio Grande do Sul, não só oferece uma alternativa energética mais limpa, mas também promove a sustentabilidade ambiental.

Pesquisas realizadas por Silva Filho *et al.* (2016), reforçam a ideia de que a energia solar é crucial para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, favorecendo um ambiente mais saudável. Além disso, a utilização dessa fonte de energia reduz a dependência de fontes não renováveis, minimizando a poluição do ar e da água, uma vez que não envolve a queima de combustíveis fósseis ou processos industriais agressivos. Dessa forma, a energia solar se configura não apenas como uma alternativa viável para a matriz energética, mas também como uma peça-chave na preservação do meio ambiente.

No mesmo contexto, Macedo (2018) aponta que a energia solar fotovoltaica, quando aplicada em pequenos projetos, é uma fonte de energia limpa e sustentável, com a principal vantagem ambiental de não gerar emissões de CO₂ ou poluentes atmosféricos durante sua operação. Esse sistema contribui para a redução da pegada de carbono e minimiza os impactos ecológicos associados à exploração de recursos não renováveis. Embora o processo de fabricação das células fotovoltaicas envolva

algum impacto ambiental, este é controlado, e o efeito ao longo da vida útil do sistema é praticamente nulo.

A adoção da energia solar também se configura como uma estratégia eficiente para reduzir a dependência de fontes externas e diminuir as importações de combustíveis fósseis, promovendo, assim, a conservação da biodiversidade. No contexto de pequenos projetos, a energia solar se apresenta como uma solução significativa para a sustentabilidade, ao gerar benefícios econômicos e contribuir de maneira relevante para a preservação ambiental.

Assim, as tecnologias de energia renovável, como a energia solar, têm sido amplamente reconhecidas por sua capacidade de contribuir para a sustentabilidade em diversas razões, conforme apontado pelo Fapesp (2007, p.186):

Benefícios ambientais e de saúde pública. Na maioria dos casos, as modernas tecnologias de energia renovável geram emissões muito mais baixas (ou quase nulas) de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos convencionais, em comparação com as alternativas de combustível fóssil; outros benefícios podem envolver necessidades menores no uso de água e tratamento de resíduos, bem como impactos evitados de mineração e prospecção. **Benefícios de segurança energética.** Recursos renováveis reduzem a exposição à escassez de oferta e à volatilidade dos preços nos mercados de combustíveis convencionais; também oferecem um meio para muitos países diversificarem os seus suprimentos de combustível e para reduzir a dependência das fontes estrangeiras de energia, incluindo a dependência do petróleo importado. **Desenvolvimento e benefícios econômicos.** O fato de muitas tecnologias renováveis poderem ser implantadas gradativamente, em aplicações isoladas de pequena escala, faz com que sejam adequadas para os contextos dos países em desenvolvimento, em que existe uma necessidade urgente de estender o acesso aos serviços de energia nas zonas rurais; além disso, uma maior dependência dos recursos renováveis nacionais pode reduzir a transferência de pagamentos por energia importada e estimular a criação de empregos.

Embora a energia solar seja considerada uma solução sustentável, alguns estudos, como o de Lopes e Bastos (2022), ressaltam que o custo inicial da tecnologia ainda representa um obstáculo para sua adoção em larga escala. No entanto, o Brasil, devido à sua alta irradiação solar, apresenta um grande potencial para o aproveitamento dessa fonte de energia. Dessa forma, a energia solar se configura não só como uma alternativa limpa, mas também como uma solução estratégica para atender à crescente demanda por energia, aproveitando recursos naturais abundantes e não finitos.

A importância da energia solar em pequenos projetos tem sido destacada em diversos estudos de caso, como os realizados por Gazoli, Villalva e Guerra (2016), e Machado e Miranda (2015), que demonstram resultados positivos no aproveitamento dessa fonte de energia. Esses estudos reforçam a relevância da energia solar para a promoção de um futuro mais sustentável, não apenas pela redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também pela contribuição para a conservação dos recursos naturais, evitando a poluição associada a fontes convencionais de energia.

De acordo com Oliveira e Araújo Filho (2020), a operação dos sistemas fotovoltaicos é amplamente vista como ambientalmente favorável, pois não gera impactos ambientais relevantes. No entanto, os autores alertam para os impactos ambientais relacionados ao processo de fabricação dos componentes dos sistemas fotovoltaicos, como os painéis solares e as baterias de chumbo-ácido. Essas etapas, especialmente a extração de matérias-primas e a produção de materiais, podem

resultar em emissões de dióxido de carbono (CO₂), o que limita os benefícios ambientais da energia solar.

Finalmente, Vilhena (2007) enfatiza a importância de adotar práticas sustentáveis no setor da construção civil para minimizar os impactos ambientais das edificações. Embora o estudo não mencione diretamente a energia solar fotovoltaica, ele destaca a necessidade de reduzir o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos ao longo do ciclo de vida das construções. Essas diretrizes ambientais buscam melhorar o desempenho ambiental dos edifícios, promovendo a preservação do meio ambiente e a qualidade do ambiente construído, alinhando-se aos objetivos da sustentabilidade promovidos pela adoção da energia solar.

2.3 Diretrizes para Implementação de Sistemas Solares em Pequenos Projetos

A literatura tem enfatizado a importância de diretrizes fundamentais para a implementação de sistemas solares em projetos de pequeno porte. Vianna (2023) discute os aspectos financeiros e técnicos essenciais para a escolha de sistemas adequados a residências e pequenos negócios, destacando que a análise de custo e viabilidade econômica é crucial para a adoção sustentável de sistemas solares. A autora salienta também a relevância de políticas públicas e incentivos que facilitem essa adoção, promovendo uma transição energética acessível.

Vários estudos recentes investigando a implementação de sistemas solares fotovoltaicos também abordam a necessidade de um dimensionamento adequado das instalações, como proposto por David (2020). O autor destaca a importância de uniformizar as normas, propondo a criação de uma regulamentação nacional que centralize diretrizes e simplifique a expansão do setor em todo o país. Ele também sugere a inclusão de informações sobre os benefícios da energia solar no currículo escolar, como forma de ampliar a conscientização e o entendimento da população sobre essa fonte de energia sustentável.

No contexto de apoio técnico e financeiro, estudos realizados pelo Brasil (2021) sublinham a importância de recursos específicos para a viabilização de sistemas solares em pequenos projetos. Destacam-se, por exemplo, recursos não reembolsáveis e linhas de crédito de instituições como BNDES e FINEP, que incentivam a adoção dessas tecnologias. O estudo menciona ainda o suporte de organismos internacionais, que contribuem para a adequação dos projetos às especificidades locais, promovendo a eficiência e a sustentabilidade desses sistemas.

De maneira complementar, o estudo de Maia, Lima e Gomes (2019) aborda o planejamento técnico e financeiro necessário para a implementação de sistemas solares em projetos habitacionais populares. Embora a instalação inicial desses sistemas implique custos elevados, a economia gerada na conta de energia pode justificar o investimento a médio e longo prazo. Além disso, os autores ressaltam a importância de políticas públicas e subsídios para garantir o acesso das populações de baixa renda a essa tecnologia. Contudo, enfatizam que a adoção de sistemas solares não se resume à instalação dos equipamentos, sendo essencial a criação de uma infraestrutura de manutenção eficiente, que muitas vezes é negligenciada, comprometendo os benefícios do sistema. O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) é citado como um exemplo de iniciativa governamental que, apesar de avanços, ainda enfrenta limitações na ampliação do uso da energia solar, o que exige uma maior integração entre as políticas habitacionais e energéticas, considerando as particularidades regionais.

Por fim, em estudos voltados para comunidades rurais, Valer *et al.* (2014), abordam a importância de adaptações técnicas e operacionais específicas. Os autores ressaltam que a escolha de componentes apropriados e a capacitação dos usuários e técnicos são fundamentais para a autonomia e sustentabilidade dos sistemas solares. Além disso, a gestão participativa, que envolve diretamente os moradores, é apontada como uma abordagem eficaz, embora se sugira uma maior participação das concessionárias para assegurar a continuidade e eficácia dos projetos ao longo do tempo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo consistiu em uma pesquisa bibliográfica abrangente, com revisão da literatura sobre os aspectos de sustentabilidade e viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica em pequenos projetos, como residências e pequenos negócios. A revisão foi realizada por meio da análise de artigos científicos, livros, dissertações e teses, com ênfase em bases de dados acadêmicas reconhecidas, como SciELO e Google Acadêmico. Para garantir a relevância dos dados, o levantamento bibliográfico foi realizado utilizando palavras-chave específicas, como "energia solar fotovoltaica", "sustentabilidade", "viabilidade econômica" e "pequenos projetos".

Para a seleção dos estudos a serem incluídos na revisão, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão rigorosos. Somente os artigos que tratavam diretamente da energia solar fotovoltaica, com foco em pequenos projetos, foram considerados relevantes.

4 RESULTADOS

Inicialmente, foram encontrados 120 artigos publicados entre 2005 e 2024, em português, inglês e espanhol, assegurando a pertinência do conteúdo revisado. Artigos que não abordavam especificamente os impactos econômicos ou ambientais da energia solar fotovoltaica, ou que estavam fora do escopo da pesquisa, foram excluídos.

A partir dessa seleção inicial, os artigos foram analisados em duas vertentes principais: sustentabilidade ambiental, com foco nos benefícios da energia solar, como a redução da pegada de carbono, a preservação dos recursos naturais e a diminuição da dependência de fontes fósseis de energia; e viabilidade econômica, com ênfase nos aspectos financeiros de implementação de sistemas fotovoltaicos em projetos de pequena escala, como o custo inicial de instalação, o retorno sobre o investimento e a necessidade de incentivos fiscais e políticas públicas.

Após a leitura dos resumos, 62 artigos foram excluídos por não atenderem aos critérios estabelecidos. Uma análise mais aprofundada dos artigos restantes resultou na exclusão de outros 48 artigos, devido a duplicação ou relevância insuficiente para o tema. Ao final, 10 artigos foram selecionados e compuseram a base teórica para a análise da viabilidade econômica e sustentabilidade dos sistemas fotovoltaicos em pequenos projetos. Dessa forma, a metodologia adotada permitiu uma revisão detalhada e focada, que sustentará a análise dos dados apresentados nas seções de resultados e discussões, assegurando uma compreensão aprofundada dos fatores

que influenciam a viabilidade econômica e os benefícios de sustentabilidade associados à adoção da energia solar fotovoltaica.

Os artigos selecionados são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Síntese dos Resultados sobre Sustentabilidade e Viabilidade Econômica em Pequenos Projetos de Energia Solar Fotovoltaica

Autor (es) / Ano	Aspectos Analisados	Principais Resultados - Sustentabilidade	Principais Resultados - Viabilidade Econômica
Silva Filho <i>et al.</i> (2016)	Emissões de CO ₂ e pegada de carbono	Redução significativa das emissões de gases de efeito estufa e menor dependência de fontes poluentes.	Viabilidade limitada para pequenos projetos sem incentivos fiscais devido ao alto custo inicial.
Budel (2017)	Dimensionamento e capacidade instalada	Importância de equilibrar capacidade e consumo para evitar desperdícios de energia.	Dimensionamento adequado aumenta a rentabilidade; viabilidade otimizada em locais com maior irradiação solar.
Ramos, Durante e Callejas (2017)	Localização e tarifas de energia	Sistemas solares oferecem benefícios ambientais em regiões com altas tarifas de eletricidade.	A viabilidade depende de incentivos fiscais e condições climáticas; maior atratividade econômica em locais de alta tarifa de energia.
Vianna (2023)	Benefícios ambientais da energia solar	Preservação de recursos naturais, redução de impactos no solo e ar, e conservação da biodiversidade.	Sugestão de políticas públicas e incentivos para facilitar a adoção dos sistemas solares, especialmente para pequenos negócios.
Azevêdo (2020)	Custo-benefício e incentivos públicos	Contribuição da energia solar para a sustentabilidade global.	Incentivos fiscais e subsídios aumentam a viabilidade econômica, tornando o retorno financeiro mais atraente a médio e longo prazo.
Macedo (2018)	Emissões e recursos naturais	Fontes de energia limpa reduzem pegada de carbono; impacto controlado na fabricação de células fotovoltaicas.	Embora o custo inicial seja elevado, a economia com eletricidade ao longo do tempo torna o sistema viável em pequenas instalações.
David (2020)	Normatização e conscientização	Relevância de normas e currículos escolares para a difusão do uso sustentável de energia solar.	Regulação centralizada pode simplificar a expansão e reduzir custos de implementação.
Maia, Lima e Gomes (2019)	Políticas habitacionais e subsídios	Menor impacto ambiental e benefício à sustentabilidade em habitações populares.	Subsídios e financiamento facilitam a adoção em habitações de baixa renda, com benefícios econômicos a médio prazo.
Lopes e Bastos (2022)	Custo inicial e potencial de adoção	Contribui para atender à demanda de energia limpa e reduzir emissões.	Alto custo inicial ainda representa barreira, mas o Brasil tem grande potencial devido à alta irradiação solar.
Valer <i>et al.</i> (2014)	Adaptações técnicas para comunidades rurais	Uso sustentável com capacitação dos usuários para maior autonomia.	Custos de instalação e manutenção altos; gestão participativa e assistência das concessionárias aumentam a sustentabilidade financeira.

Fonte: O autor (2024)

4.1 Viabilidade Econômica da Instalação de Energia Solar

Para comprovar a viabilidade econômica, realizou-se um estudo de caso em uma residência de aproximadamente 100 m² localizada no estado de São Paulo. A residência, dotada de um sistema de alimentação bifásico, apresentava um consumo médio mensal de energia elétrica entre 550 kWh e 580 kWh nos últimos 12 meses, com o custo do kWh estabelecido pela companhia de energia em R\$ 0,89 no ano de 2024. Nessas condições, a implementação de um sistema de energia solar fotovoltaica se apresenta como uma excelente alternativa para zerar o consumo da rede elétrica convencional.

4.2 NÚMERO DE PLACAS SOLARES, CUSTO E RETORNO DO INVESTIMENTO

2.3 Número de Placas Solares Necessárias

Considerando-se um consumo médio de 570 kWh/mês (com base em uma faixa de 550 kWh a 580 kWh) e a favorável irradiação solar no estado de São Paulo, um sistema fotovoltaico dimensionado para suprir essa demanda, utilizando placas solares de alta eficiência (por exemplo, 550 Wp), demandaria aproximadamente 10 placas solares. Para assegurar a completa compensação do consumo e mitigar pequenas perdas ou variações na geração, um sistema de 5 kWp seria ideal, sendo 10 placas de 550 Wp suficientes para a demanda mensal de 570 kWh.

2.4 Custo Total da Instalação da Energia Solar

O custo de instalação de um sistema fotovoltaico projetado para gerar aproximadamente 570 kWh/mês (correspondente a um sistema de 5 kWp) no estado de São Paulo, em 2024, apresenta variabilidade significativa. Fatores como a marca dos equipamentos, a complexidade da instalação, a empresa instaladora e a estrutura do telhado influenciam diretamente o preço final. Contudo, a estimativa de mercado para um sistema com essa potência varia entre R\$ 20.000,00 e R\$ 28.000,00.

2.5 Retorno Sobre o Investimento (ROI)

Com base no custo médio do kWh de R\$ 0,89 e na economia mensal substancial na fatura pagando apenas a taxa mínima da energia elétrica a soma dos 12 meses gira em torno de R\$ 534,00, a economia anual chega a R\$ 5.553,60, em comparação com o valor pago anual antes da instalação da energia solar que tem o valor de R\$ 6.087,60. sendo assim o retorno sobre o Investimento (ROI) para um sistema fotovoltaico em São Paulo, nas condições apresentadas, situa-se geralmente entre 3 e 5 anos. Isso implica que, nesse período, a economia proporcionada na conta de luz será equivalente ao investimento inicial realizado no sistema.

Quadro 2 - Antes da Instalação de Energia Solar (Consumo da CPFL)

Mês	Consumo (kWh)	Valor a Pagar (R\$)
Janeiro	570	R\$ 507,30
Fevereiro	570	R\$ 507,30
Março	570	R\$ 507,30
Abril	570	R\$ 507,30
Maio	570	R\$ 507,30
Junho	570	R\$ 507,30
Julho	570	R\$ 507,30
Agosto	570	R\$ 507,30
Setembro	570	R\$ 507,30
Outubro	570	R\$ 507,30
Novembro	570	R\$ 507,30
Dezembro	570	R\$ 507,30
Total	6.840	R\$ 6.087,60

Fonte: O autor (2024)

Quadro 3 – Comparativo de Consumo e Geração de Energia Elétrica com Sistema Solar Fotovoltaico (Cenário Pós Instalação)

Mês	Consumo (kWh)	Geração Solar (kWh)	Saldo de Energia (kWh)	Valor a Pagar CPFL (R\$) - Taxa Mínima	Excedente Gerado (kWh) - Créditos
Janeiro	570	630	+60	R\$ 44,50	60
Fevereiro	570	600	+30	R\$ 44,50	30
Março	570	580	+10	R\$ 44,50	10
Abril	570	550	-20	R\$ 44,50	0 (utiliza créditos)
Maio	570	500	-70	R\$ 44,50	0 (utiliza créditos)
Junho	570	480	-90	R\$ 44,50	0 (utiliza créditos)
Julho	570	470	-100	R\$ 44,50	0 (utiliza créditos)
Agosto	570	520	-50	R\$ 44,50	0 (utiliza créditos)
Setembro	570	560	-10	R\$ 44,50	0 (utiliza créditos)
Outubro	570	590	+20	R\$ 44,50	20
Novembro	570	610	+40	R\$ 44,50	40
Dezembro	570	630	+60	R\$ 44,50	60
Total	6.840	6.920	+80	R\$ 534,00	220

Fonte: O autor (2024)

5 DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo destacam os principais fatores que influenciam a sustentabilidade e a viabilidade econômica dos sistemas de energia solar fotovoltaica em pequenos projetos, como residências e pequenos negócios. A partir da análise dos dados e das contribuições da literatura, nota-se que, embora a energia solar fotovoltaica seja amplamente reconhecida como uma fonte limpa e sustentável, sua implementação enfrenta desafios, principalmente relacionados ao custo inicial e à necessidade de incentivos financeiros e políticas públicas de apoio.

Em termos de sustentabilidade, os benefícios da energia solar fotovoltaica são inquestionáveis, uma vez que a tecnologia reduz significativamente a pegada de carbono e diminui a dependência de fontes energéticas poluentes, como combustíveis fósseis. Estudos como os de Vianna (2023) e Macedo (2018) apontam que a adoção de sistemas solares promove a conservação dos recursos naturais, contribuindo para a biodiversidade e a qualidade do ar e da água. Contudo, observa-se que, embora o impacto ambiental durante a fase operacional seja quase nulo, o processo de fabricação das células fotovoltaicas pode gerar emissões de CO₂, o que precisa ser considerado para garantir uma visão holística da sustentabilidade dessa tecnologia. Em pequenas aplicações, como residências, a energia solar oferece uma oportunidade valiosa para atender à crescente demanda por fontes energéticas sustentáveis, especialmente em países como o Brasil, onde a irradiação solar é elevada e apresenta um potencial de exploração considerável.

No entanto, a viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica em projetos de pequeno porte é ainda um tema de debate e análise. O alto custo inicial dos sistemas fotovoltaicos representa uma barreira significativa para sua adoção em larga escala. Estudos como os de Maia, Lima e Gomes (2019) e Lopes e Bastos (2022) indicam que, embora os custos de instalação possam ser elevados, o investimento em energia solar pode ser economicamente viável a médio e longo prazo, especialmente quando são oferecidos subsídios e linhas de financiamento. Em contrapartida, quando a análise econômica não leva em conta incentivos fiscais, a atratividade do investimento para pequenas instalações pode ser reduzida, principalmente em cenários onde o retorno financeiro só ocorre após o 12º ano, como observado por Santos, Souza e Dalfior (2016).

Um ponto destacado na literatura é a importância do dimensionamento adequado dos sistemas fotovoltaicos, conforme sugerido por Budel (2017), que enfatiza a necessidade de ajustar a capacidade instalada ao consumo energético real para evitar o desperdício e otimizar o retorno financeiro. Isso é particularmente relevante em projetos residenciais e comerciais menores, onde o excesso de geração de energia não é sempre vantajoso economicamente, especialmente em locais onde a geração excedente não resulta em compensação financeira significativa. Além disso, os autores Ramos, Durante e Callejas (2017), reforçam a relevância de fatores como localização e tarifas locais de energia, que podem impactar diretamente a competitividade da energia solar em comparação com outras fontes energéticas.

As políticas de incentivo, conforme apontado por Azevêdo (2020) e Lana *et al.* (2015), emergem como um elemento essencial para tornar a energia solar economicamente acessível e competitiva em pequenos projetos. Subsídios, isenções fiscais e linhas de crédito são fatores que impulsionam a adoção dessa tecnologia, possibilitando uma maior democratização do acesso à energia solar. A literatura

evidencia que políticas públicas direcionadas podem diminuir as barreiras financeiras, permitindo que residências e pequenos negócios invistam em sistemas de geração de energia solar com menor risco econômico.

Ademais, os benefícios ambientais da energia solar em projetos de pequeno porte vão além da questão da sustentabilidade climática. A utilização dessa tecnologia pode favorecer a segurança energética, reduzindo a vulnerabilidade frente à oscilação de preços das fontes fósseis, além de permitir uma maior independência energética em contextos rurais e remotos. De acordo com Valer et al. (2014), adaptações técnicas para o uso da energia solar em comunidades rurais, juntamente com a capacitação dos moradores, contribuem para o sucesso e a sustentabilidade dos projetos, promovendo a autonomia local. Esses elementos se tornam ainda mais importantes quando se considera que a energia solar, por ser modular e acessível, é viável para diversas aplicações de pequena escala, beneficiando especialmente regiões onde a extensão da rede elétrica tradicional é limitada.

Por fim, a necessidade de regulamentação uniforme e de conscientização social sobre os benefícios da energia solar, conforme discutido por David (2020), é fundamental para que a energia solar fotovoltaica seja amplamente adotada. A inclusão de diretrizes nacionais que simplifiquem as normas de instalação e a inclusão da educação ambiental no currículo escolar podem criar uma base sólida para a expansão do setor no Brasil, garantindo que a população compreenda a importância da transição energética e os benefícios da energia solar tanto para a economia quanto para o meio ambiente.

Em síntese, o estudo aponta que a energia solar fotovoltaica, apesar dos desafios econômicos iniciais, representa uma alternativa viável e sustentável para pequenos projetos, especialmente em contextos em que políticas públicas e incentivos financeiros podem ser aplicados para mitigar as barreiras econômicas. Assim, o futuro dessa tecnologia depende de uma articulação entre desenvolvimento tecnológico, incentivos governamentais e a conscientização da sociedade sobre os benefícios e a importância da transição para fontes de energia limpa e renovável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta investigação, o objetivo principal foi determinar a viabilidade econômica e a sustentabilidade ambiental da energia solar fotovoltaica em pequenos projetos, tais como residências e pequenos negócios. Conforme mencionado na literatura, a adoção de sistemas solares apresenta-se como uma alternativa promissora e cada vez mais relevante diante da necessidade global de reduzir as emissões de carbono e promover o uso de fontes renováveis de energia. No entanto, ainda existem desafios econômicos e estruturais que afetam a ampla implementação dessa tecnologia em pequena escala.

Conforme discutido nos resultados, o elevado custo inicial de instalação dos sistemas fotovoltaicos continua sendo um dos principais obstáculos para sua adoção em larga escala, especialmente em contextos residenciais e de pequenos negócios. De acordo com os estudos revisados, fatores como localização geográfica, eficiência do sistema e presença de políticas públicas e incentivos financeiros desempenham um papel crucial para que o investimento em energia solar se torne economicamente viável. Os dados indicam que, sem esses incentivos, o retorno sobre o investimento pode não ser atrativo no curto prazo, limitando a adoção da tecnologia em pequena escala. Tomados em conjunto, estes resultados sugerem que a viabilidade econômica

da energia solar fotovoltaica depende de uma combinação de variáveis financeiras e regulatórias que precisam ser consideradas no desenvolvimento de políticas públicas.

Em termos de sustentabilidade, a literatura destaca os benefícios ambientais da energia solar, que vão desde a redução de gases de efeito estufa até a diminuição da dependência de combustíveis fósseis e a conservação dos recursos naturais. No entanto, como apontado por alguns estudos, o impacto ambiental dos processos de fabricação dos componentes fotovoltaicos, como as células solares, deve ser mais explorado. Embora este impacto seja compensado ao longo da vida útil dos sistemas, a fabricação ainda gera emissões de CO₂, o que levanta a necessidade de pesquisas futuras para aprimorar a sustentabilidade de todo o ciclo de vida dos sistemas fotovoltaicos.

Uma implicação prática deste estudo é a possibilidade de se fortalecerem incentivos e regulamentações específicas para sistemas de pequeno porte, alinhando a tecnologia às necessidades de pequenas instalações e aproveitando o potencial de geração solar em regiões com alta incidência solar, como o Brasil. Os resultados indicam que a energia solar fotovoltaica em pequenos projetos pode não apenas fornecer uma solução energética limpa, mas também contribuir para a segurança energética, reduzindo a vulnerabilidade às flutuações de preço e disponibilidade de fontes fósseis. Assim, a criação de políticas públicas que incentivem o uso de energia solar em pequena escala pode estimular o crescimento do setor e promover uma transição energética sustentável.

É provável que a implementação de políticas de incentivo, como subsídios e linhas de crédito, possa melhorar a viabilidade econômica dos projetos fotovoltaicos em pequena escala, democratizando o acesso à energia renovável e estimulando a consciência ambiental. Sugere-se, portanto, um estudo mais aprofundado sobre o papel das políticas públicas na expansão da energia solar, com foco em projetos de pequeno porte que possibilitem a geração de energia para consumo próprio em residências e pequenas empresas.

Ainda há muitas perguntas sem resposta sobre a infraestrutura e a manutenção dos sistemas solares fotovoltaicos, especialmente em regiões remotas e rurais, onde a adoção de energia solar tem grande potencial para suprir a carência energética. É necessária mais investigação para determinar a eficácia de soluções técnicas adaptadas para esses contextos, de forma a assegurar a durabilidade e a sustentabilidade dos sistemas. Além disso, os estudos indicam que a capacitação de técnicos e usuários finais é essencial para o sucesso dos projetos, sugerindo que o desenvolvimento de programas educacionais e a conscientização social sobre os benefícios da energia solar são fundamentais para consolidar sua adoção.

Esta pesquisa amplia nosso entendimento sobre as condições necessárias para a viabilidade e sustentabilidade da energia solar em pequena escala, fornecendo uma base para estudos futuros que busquem soluções para os desafios econômicos e ambientais que limitam sua implementação. O futuro da energia solar fotovoltaica parece depender de uma integração mais eficaz entre políticas públicas, avanços tecnológicos e conscientização ambiental.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Rômulo de Oliveira. *Análise de fatores determinantes na viabilidade econômica de investimentos em energia solar e eólica*. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/22669>. Acesso em: 29 out. 2024.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. *Diretrizes de financiamento para as tecnologias e planos de ação tecnológica do projeto TNA_BRAZIL*. Brasília, 2021. 71 p. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4976>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- BUDEL, Deives Antônio. *Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em residências*. 2017. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/11686>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- CAVALCANTI, P. N. M.; SILVA, A. C. de L.; SILVA, C. M. Avaliação da viabilidade econômica da implantação de fontes fotovoltaicas em instituições públicas: um estudo de revisão. *Observatório de la Economía Latino-americana*, v. 21, n. 10, p. 14855–14893, 2023. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1281>. Acesso em: 29 out. 2024.
- DAVID, Thamyres Machado. *Identificação de aspectos potenciais para gestão de sistemas solares fotovoltaicos em residências*. 2020. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/093e7389-aa38-4c62-81f8-6ec14858231e>. Acesso em: 09 nov. 2024.
- FAPESP. *Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho*. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo: FAPESP, InterAcademy Council, 2007. Disponível em: <https://fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- GAZOLI, Jonas Rafael; VILLALVA, Marcelo Gradella; GUERRA, Juarez. Capítulo IX: *Energia solar fotovoltaica – Introdução*. In: Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261175798_Energia_Solar_Fotovoltaica_-_Introducao. Acesso em: 29 out. 2024.
- LANA, Luana Teixeira Costa *et al.* Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. *Engenharias On-line*, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015. Disponível em: <https://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3574>. Acesso em: 29 out. 2024.
- LOPES, Matheus Chaves; BASTOS, Adriana Teixeira. Energia solar à luz da sustentabilidade: uma revisão sistemática de literatura nas bases de dados Spell, Scopus, SciELO e Web of Science entre os anos de 2016 e 2020. *Revista Livre de*

Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 7, n. 6, 2022. Disponível em: <https://www.relise.eco.br/index.php/relise/article/view/662>. Acesso em: 29 out. 2024.

MACEDO, Diana Sofia Tavares. *Projeto e instalação de sistema de autoconsumo: estágio na SUNENERGY*. 2018. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2018. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/25460>. Acesso em: 9 nov. 2024.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão. *Revista Virtual de Química*, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015. Disponível em: <http://www.uff.br/rvq>. Acesso em: 29 out. 2024.

MAIA, Doralice Sátyro; LIMA, Yure Silva; GOMES, Luciana de Carvalho. Energia solar em habitações populares: uma experiência na política habitacional brasileira. In: *Simposio Internacional de la Historia de la Electrificación*, 5., 2019, Évora. La electricidad y la transformación de la vida urbana y social. Évora: [s.n.], 2019. p. 861-879. Disponível em: <https://www.ub.edu/geocrit/Electricidad-y-transformacion-de-la-vida-urbana/MaiaLimaGomes.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

MOREIRA, Hugo Lima; BASTOS, Augusto Mendes; SANTOS, Romualdo Barbosa. Análise comparativa da viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos e eólicos para microgeração de energia elétrica. *Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS, VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.59627/cbens.2018.525>. Acesso em: 9 nov. 2024.

NUNES-VILLELA, Josely *et al.* Energia em tempo de descarbonização: uma revisão com foco em consumidores fotovoltaicos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*, n. 45, p. 130-144, 2017. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/103. Acesso em: 29 out. 2024.

OLIVEIRA, E. A. F.; ARAÚJO FILHO, J. G. Perspectivas da geração e aplicação da energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão da literatura (2015-2019). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 5, p. 435-450, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0035>. Acesso em: 9 nov. 2024.

PNGTREE. Imagens. *Fundo ilustração 3D de uma casa ecológica com painéis solares no telhado*. 2024. Disponível em: https://pt.pngtree.com/freebackground/3d-illustration-of-an-environmentally-friendly-house-with-solar-panels-on-the-roof_7231283.html. Acesso em: 9 nov. 2024.

RAMOS, L. A.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Geração de Eletricidade Abordando o Ciclo de Vida: *Uma Revisão Sistemática sob a Ótica da Sustentabilidade Ambiental*. E&S Engineering and Science, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 14–28, 2017. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/4749>. Acesso em: 29 out. 2024.

SANTOS, Fabrício Almeida; SOUZA, Carlos Alberto de.; DALFIOR, Vanda Aparecida Oliveira. Energia solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de

instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. In: *SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, XIII*, 2016, Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro, RJ: AEDB, 2016. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862456.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2024.

SILVA FILHO, Carlos Alberto Mendes et al. *Energias renováveis como fonte sustentável: uma revisão integrativa*. 2016. Disponível em: <https://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2016/trabalhos/pdf/congestas2016-et-06-008.pdf>. Acesso em: 29 out. 2024.

VALER, Roberto et al. Lições aprendidas no processo de implantação de sistemas fotovoltaicos domiciliares em duas comunidades rurais. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 5, n. 1, 2014. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/104/104>. Acesso em: 9 nov. 2024.

VELOSO, Juliana Freire. *Realidade e perspectivas da energia solar fotovoltaica em residências: revisão de literatura*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/27107>. Acesso em: 29 out. 2024.

VIANNA, Léia Maria Coelho. *Desafios e oportunidades da energia solar no Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023. Trabalho de conclusão de graduação em Ciências Econômicas. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/266902?show=full>. Acesso em: 29 out. 2024.

VILHENA, Juliana Machado. *Diretrizes para a sustentabilidade das edificações*. Gestão & Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 59-78, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228555291_Diretrizes_para_a_Sustentabilidade_das_Edificacoes. Acesso em: 9 nov. 2024.