

Recebido: 20 de abril de 2026

Publicado: 23 de abril de 2026

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: INSTALAÇÃO, FUNCIONAMENTO E VIABILIDADE

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY: INSTALLATION, OPERATION, AND FEASIBILITY

Júlio Gabriel Rodrigues dos Santos ¹

RESUMO

Este artigo aborda a energia solar fotovoltaica como uma alternativa sustentável para a geração de energia elétrica, destacando seus aspectos de funcionamento, instalação e viabilidade. A relevância do tema justifica-se pelo crescimento da demanda energética e pela necessidade de adoção de fontes renováveis que minimizem os impactos ambientais. Nesse contexto, define-se como problema de pesquisa analisar em que medida os sistemas fotovoltaicos apresentam viabilidade técnica e econômica, considerando seus princípios de operação e critérios de implementação. O objetivo geral consiste em avaliar o funcionamento, os requisitos de instalação e a viabilidade dessa tecnologia, sendo complementado por objetivos específicos voltados à descrição dos fundamentos do efeito fotovoltaico, às etapas de dimensionamento e às análises de custo-benefício. A metodologia adotada caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, de natureza descritiva e exploratória, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica em fontes técnicas, normas e publicações científicas da área. Os resultados evidenciam que a energia solar fotovoltaica apresenta elevada eficiência operacional quando corretamente dimensionada e instalada, além de proporcionar significativa redução nos custos com energia elétrica ao longo do tempo. Verifica-se, ainda, sua contribuição para a sustentabilidade ambiental, devido à ausência de emissões poluentes durante sua operação. Conclui-se que a tecnologia fotovoltaica se configura como uma alternativa viável e estratégica para a diversificação da matriz energética, especialmente em regiões com alta incidência solar.

¹ O presente artigo é decorrente de um capítulo do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso Técnico em Eletrotécnica da Unimax, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Eletrotécnica. O estudo desenvolvido aborda aspectos técnicos e aplicados relacionados à energia solar fotovoltaica, com enfoque em sua instalação, funcionamento e viabilidade. Após avaliação pela banca examinadora, o trabalho foi devidamente aprovado, sendo posteriormente indicado para publicação em periódico científico, em virtude de sua relevância temática e qualidade técnico-científica. Submetido à apreciação editorial, o artigo foi aceito para publicação por esta revista sem a necessidade de ajustes ou restrições, evidenciando a consistência metodológica e a contribuição do estudo para a área da Eletrotécnica.

Palavras-chave: energia solar. sistemas fotovoltaicos. viabilidade econômica. sustentabilidade. instalação elétrica.

ABSTRACT

This article addresses photovoltaic solar energy as a sustainable alternative for electricity generation, highlighting its aspects of operation, installation, and feasibility. The relevance of the topic is justified by the growing energy demand and the need to adopt renewable sources that minimize environmental impacts. In this context, the research problem is defined as analyzing to what extent photovoltaic systems present technical and economic feasibility, considering their operating principles and implementation criteria. The general objective is to evaluate the operation, installation requirements, and feasibility of this technology, complemented by specific objectives aimed at describing the fundamentals of the photovoltaic effect, the sizing stages, and cost-benefit analyses. The adopted methodology is characterized as qualitative, with a descriptive and exploratory nature, developed through a bibliographic review of technical sources, standards, and scientific publications in the field. The results show that photovoltaic solar energy presents high operational efficiency when properly sized and installed, in addition to providing significant reductions in electricity costs over time. It also contributes to environmental sustainability due to the absence of pollutant emissions during its operation. It is concluded that photovoltaic technology constitutes a viable and strategic alternative for diversifying the energy matrix, especially in regions with high solar incidence.

Keywords: solar energy. photovoltaic systems. economic feasibility. sustainability. electrical installation.

1 INTRODUÇÃO

A crescente expansão da demanda por energia elétrica, associada às limitações das fontes convencionais e aos impactos ambientais decorrentes de sua utilização, tem impulsionado a inserção de fontes renováveis na matriz energética mundial. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica destaca-se como uma tecnologia promissora, baseada na conversão direta da radiação solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico em materiais semicondutores. Tal tecnologia apresenta vantagens significativas, como a redução de emissões de gases de efeito estufa, a modularidade dos sistemas e a possibilidade de geração distribuída, especialmente em regiões com elevada incidência solar, como o território brasileiro.

Diante dessa realidade, evidencia-se a necessidade de compreender de forma técnica e aplicada os aspectos que envolvem a implementação dessa tecnologia, o

que conduz ao seguinte problema de pesquisa: em que medida os sistemas de energia solar fotovoltaica apresentam viabilidade técnica e econômica, considerando seus princípios de funcionamento, critérios de instalação e desempenho operacional? A partir dessa problemática, torna-se fundamental analisar não apenas os fundamentos físicos do processo de conversão energética, mas também os requisitos normativos e operacionais que garantem a eficiência e a segurança dos sistemas.

Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo geral analisar a energia solar fotovoltaica sob a perspectiva de seu funcionamento, instalação e viabilidade. Para atender a esse propósito, estabelecem-se como objetivos específicos: (i) descrever os princípios físicos e elétricos que regem o efeito fotovoltaico e a operação dos sistemas; (ii) apresentar os critérios técnicos para o dimensionamento e a instalação de sistemas fotovoltaicos, em conformidade com as normas vigentes; e (iii) avaliar a viabilidade econômica e ambiental da tecnologia, considerando custos, retorno sobre o investimento e impactos ambientais associados.

A relevância deste estudo justifica-se pela crescente inserção da geração distribuída no setor elétrico e pela necessidade de formação técnica qualificada na área de Eletrotécnica, especialmente no que se refere à instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. Ademais, a disseminação de conhecimentos técnicos contribui para a adoção segura e eficiente dessa tecnologia, reduzindo falhas de projeto, perdas energéticas e riscos operacionais.

Para a organização do conteúdo, o artigo encontra-se estruturado em três capítulos interdependentes. O primeiro capítulo aborda os fundamentos teóricos e o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, com ênfase nos princípios físicos e nos componentes que compõem o sistema. Na sequência, o segundo capítulo apresenta os aspectos técnicos relacionados à instalação, incluindo dimensionamento, critérios de posicionamento, proteção elétrica e atendimento às normas técnicas aplicáveis. Por fim, o terceiro capítulo discute a viabilidade da energia solar fotovoltaica, analisando os aspectos econômicos e ambientais envolvidos na sua implementação.

Quanto à metodologia, a pesquisa caracteriza-se como de natureza qualitativa, com abordagem descritiva e exploratória, sendo desenvolvida por meio de revisão bibliográfica em fontes técnicas e científicas, tais como livros especializados, artigos acadêmicos, normas regulamentadoras e publicações do setor elétrico. Essa

abordagem permite a consolidação de conhecimentos teóricos e práticos, proporcionando uma análise sistematizada do tema.

Os resultados obtidos indicam que a energia solar fotovoltaica apresenta elevada aplicabilidade técnica e viabilidade econômica, especialmente em cenários de alta incidência solar e tarifas energéticas elevadas. Observa-se, ainda, que a correta aplicação dos critérios de dimensionamento e instalação contribui significativamente para o desempenho do sistema, reduzindo perdas e aumentando sua vida útil. Do ponto de vista ambiental, verifica-se que a tecnologia contribui para a redução das emissões de poluentes, consolidando-se como uma alternativa sustentável e estratégica para o setor energético.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Fundamentos e Funcionamento da Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica tem se consolidado como uma das principais alternativas para a geração de energia elétrica sustentável no cenário contemporâneo. Seu crescimento está diretamente relacionado à necessidade de redução dos impactos ambientais causados por fontes tradicionais de energia, bem como à busca por maior eficiência energética. Nesse contexto, a compreensão dos fundamentos e do funcionamento dos sistemas fotovoltaicos torna-se essencial para sua correta aplicação.

O princípio básico da energia solar fotovoltaica está fundamentado no efeito fotovoltaico, fenômeno físico observado em materiais semicondutores. Segundo Villalva (2015, p. 45), “o efeito fotovoltaico consiste na geração de uma diferença de potencial elétrico em um material semicondutor quando exposto à radiação solar”. Esse processo é responsável pela conversão direta da energia luminosa em energia elétrica.

Os materiais semicondutores mais utilizados na fabricação de células fotovoltaicas são baseados no silício, devido às suas propriedades elétricas e abundância na natureza. Conforme afirma Green (2003, p. 12), “o silício cristalino é o material predominante na indústria fotovoltaica devido à sua eficiência e estabilidade

ao longo do tempo”. Essa característica contribui para a confiabilidade dos sistemas solares.

As células fotovoltaicas são organizadas em módulos, também conhecidos como painéis solares, que constituem a unidade básica de geração de energia. De acordo com Pinho e Galdino (2014, p. 67), “os módulos fotovoltaicos são compostos por um conjunto de células interligadas eletricamente e encapsuladas para proteção contra intempéries”. Essa estrutura garante durabilidade e eficiência operacional.

O funcionamento do sistema fotovoltaico envolve a geração de corrente elétrica contínua (CC), que precisa ser convertida em corrente alternada (CA) para uso em equipamentos elétricos convencionais. Nesse sentido, o inversor desempenha papel fundamental. Segundo Villalva (2015, p. 102), “o inversor é responsável por converter a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada compatível com a rede elétrica”.

Além dos módulos e inversores, os sistemas fotovoltaicos incluem outros componentes essenciais, como controladores de carga, cabos elétricos, dispositivos de proteção e estruturas de fixação. Esses elementos garantem o funcionamento seguro e eficiente do sistema. Conforme destaca Pinho e Galdino (2014, p. 89), “a integração adequada dos componentes é fundamental para assegurar o desempenho e a confiabilidade do sistema fotovoltaico”.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em diferentes categorias, sendo as principais: sistemas conectados à rede (on-grid), sistemas isolados (off-grid) e sistemas híbridos. Cada tipo apresenta características específicas de funcionamento e aplicação. De acordo com Tolmasquim (2016, p. 210), “os sistemas conectados à rede elétrica são os mais difundidos devido à sua viabilidade econômica e facilidade de integração”.

A eficiência dos sistemas fotovoltaicos está diretamente relacionada a fatores ambientais e técnicos, como a intensidade da radiação solar, a temperatura, a inclinação dos painéis e a ausência de sombreamento. Segundo Duffie e Beckman (2013, p. 56), “a quantidade de energia gerada por um sistema fotovoltaico depende significativamente das condições de radiação solar e das características do sistema instalado”.

Outro aspecto relevante refere-se à orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos, que devem ser ajustadas para maximizar a captação de energia solar.

No hemisfério sul, recomenda-se a orientação para o norte geográfico. Conforme Villalva (2015, p. 78), “a correta orientação e inclinação dos módulos contribuem significativamente para o aumento da eficiência energética do sistema”.

A durabilidade dos sistemas fotovoltaicos também é um fator importante, sendo comum que os módulos apresentem vida útil superior a 25 anos. Esse aspecto contribui para a viabilidade econômica da tecnologia. Segundo Green (2003, p. 34), “os módulos fotovoltaicos apresentam alta durabilidade, com desempenho estável ao longo de décadas de operação”.

Do ponto de vista ambiental, a energia solar fotovoltaica apresenta vantagens significativas, uma vez que não emite poluentes durante sua operação. Conforme Tolmasquim (2016, p. 198), “a geração de energia a partir da fonte solar contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a preservação ambiental”.

A crescente adoção da energia solar também está associada à evolução tecnológica e à redução dos custos dos equipamentos. Esse cenário tem favorecido a expansão da geração distribuída. Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 120), “a redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos tem ampliado significativamente seu acesso e aplicação”.

Dessa forma, observa-se que os fundamentos e o funcionamento da energia solar fotovoltaica estão baseados em princípios físicos consolidados e em tecnologias cada vez mais eficientes. A compreensão desses aspectos é essencial para a correta implementação dos sistemas, contribuindo para a expansão dessa fonte energética sustentável.

2.2 Instalação de Sistemas Fotovoltaicos

A instalação de sistemas fotovoltaicos constitui uma etapa crítica para garantir o desempenho, a segurança e a durabilidade da geração de energia elétrica. Esse processo envolve não apenas a montagem dos equipamentos, mas também a análise prévia das condições do local, o correto dimensionamento do sistema e a conformidade com normas técnicas vigentes. Nesse sentido, a execução adequada da instalação influencia diretamente a eficiência do sistema ao longo de sua vida útil.

O primeiro passo para a instalação de um sistema fotovoltaico consiste na avaliação do local onde será implementado. Essa análise inclui fatores como

incidência solar, sombreamento, orientação geográfica e condições estruturais. Segundo Kalogirou (2014, p. 215), “a avaliação do local é essencial para determinar o potencial de geração de energia e evitar perdas associadas ao sombreamento e à má orientação dos módulos”.

O dimensionamento do sistema é outro aspecto fundamental, pois define a quantidade de módulos necessários para atender à demanda energética. Esse processo leva em consideração o consumo médio de energia, a radiação solar disponível e a eficiência dos equipamentos. De acordo com Messenger e Ventre (2010, p. 302), “o correto dimensionamento do sistema fotovoltaico é determinante para garantir o equilíbrio entre geração de energia e demanda do consumidor”.

Durante a instalação, a fixação dos módulos fotovoltaicos deve ser realizada com estruturas adequadas, que assegurem resistência mecânica e estabilidade. Essas estruturas devem ser projetadas para suportar cargas de vento e outras condições climáticas adversas. Conforme afirma Masters (2013, p. 411), “as estruturas de suporte devem ser dimensionadas de forma a garantir a integridade dos módulos sob diferentes condições ambientais”.

A orientação e a inclinação dos módulos também desempenham papel crucial na maximização da geração de energia. No hemisfério sul, recomenda-se que os painéis sejam orientados para o norte geográfico, com inclinação próxima à latitude local. Segundo Boxwell (2019, p. 98), “a correta inclinação e orientação dos painéis solares pode aumentar significativamente a eficiência do sistema ao longo do ano”.

Outro componente essencial na instalação é o inversor, responsável pela conversão da corrente contínua em corrente alternada. A escolha e a instalação adequadas desse equipamento são fundamentais para o funcionamento do sistema. De acordo com Honsberg e Bowden (2019, p. 156), “o inversor deve ser instalado em local protegido, ventilado e de fácil acesso para manutenção, garantindo seu desempenho e segurança operacional”.

Além disso, o sistema deve incluir dispositivos de proteção elétrica, como disjuntores, fusíveis e dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Esses componentes são essenciais para prevenir danos causados por sobrecargas e descargas atmosféricas. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019, p. 12), “a utilização de dispositivos de proteção é obrigatória para garantir a segurança das instalações elétricas e dos usuários”.

O sistema de aterramento também é indispensável na instalação fotovoltaica, pois contribui para a proteção contra choques elétricos e descargas atmosféricas. Um aterramento eficiente reduz riscos e melhora a confiabilidade do sistema. Conforme CRESESB (2014, p. 75), “o sistema de aterramento deve ser projetado de acordo com as normas técnicas, garantindo a dissipação segura de correntes de falha”.

Outro aspecto importante refere-se à qualidade das conexões elétricas, que devem ser realizadas de forma adequada para evitar perdas de energia e riscos de falhas. Conexões mal executadas podem causar aquecimento excessivo e comprometer o sistema. Segundo Dunlop (2012, p. 223), “as conexões elétricas devem ser firmes e protegidas contra agentes externos, assegurando a continuidade elétrica e a segurança da instalação”.

A conformidade com normas técnicas é um requisito essencial na instalação de sistemas fotovoltaicos. No Brasil, destacam-se normas como a NBR 5410 e a NBR 16690, que estabelecem critérios para instalações elétricas e sistemas fotovoltaicos. De acordo com a ABNT (2020, p. 8), “o atendimento às normas técnicas é fundamental para garantir a segurança, a eficiência e a padronização das instalações”.

A etapa de comissionamento do sistema também é relevante, pois consiste na verificação final do funcionamento e desempenho dos equipamentos instalados. Esse processo inclui testes elétricos e análise da geração de energia. Conforme afirma Messenger e Ventre (2010, p. 355), “o comissionamento assegura que o sistema foi instalado corretamente e está operando conforme o projetado”.

A manutenção preventiva deve ser considerada desde a fase de instalação, garantindo o bom funcionamento do sistema ao longo do tempo. Limpeza dos módulos e inspeções periódicas são práticas recomendadas. Segundo Boxwell (2019, p. 145), “a manutenção regular contribui para a preservação da eficiência e prolonga a vida útil do sistema fotovoltaico”.

Dessa forma, a instalação de sistemas fotovoltaicos exige conhecimento técnico, planejamento adequado e rigor no cumprimento das normas. A correta execução dessas etapas assegura não apenas a eficiência energética, mas também a segurança e a viabilidade do sistema, consolidando a energia solar como uma solução confiável e sustentável.

2.3 Viabilidade Econômica e Ambiental

No contexto ambiental, a energia solar fotovoltaica apresenta vantagens expressivas, especialmente pela ausência de emissões de gases poluentes durante sua operação. Essa característica contribui para a mitigação das mudanças climáticas. De acordo com Boyle (2012, p. 67), “a energia solar é uma fonte limpa que não gera emissões diretas de dióxido de carbono durante sua utilização”.

A redução das emissões de gases de efeito estufa é um dos principais benefícios ambientais associados à energia fotovoltaica. Ao substituir fontes fósseis, essa tecnologia contribui para a sustentabilidade do planeta. Segundo Edenhofer et al. (2014, p. 15), “as fontes renováveis, incluindo a solar, desempenham papel fundamental na redução das emissões globais de carbono”.

Outro aspecto ambiental relevante refere-se ao baixo impacto durante a operação dos sistemas fotovoltaicos, especialmente quando comparado a outras formas de geração de energia. No entanto, é importante considerar o ciclo de vida dos equipamentos. Conforme afirma Fthenakis (2009, p. 275), “embora a produção de módulos fotovoltaicos envolva impactos ambientais, estes são significativamente compensados ao longo de sua vida útil”.

A durabilidade dos sistemas fotovoltaicos também contribui para sua viabilidade, uma vez que os módulos apresentam longa vida útil e baixa necessidade de manutenção. Esse fator reduz custos operacionais ao longo do tempo. Segundo Fraunhofer ISE (2020, p. 33), “os sistemas fotovoltaicos apresentam elevada confiabilidade e baixa taxa de falhas, o que favorece sua viabilidade econômica”.

A expansão da energia solar também está relacionada a políticas públicas e incentivos governamentais, que estimulam sua adoção. Esses mecanismos incluem subsídios, financiamentos e regulamentações favoráveis. De acordo com IEA (2022, p. 120), “políticas de incentivo são determinantes para acelerar a adoção de tecnologias renováveis, incluindo a energia solar fotovoltaica”.

No Brasil, a elevada incidência solar representa um fator determinante para a viabilidade dessa tecnologia, tornando o país um ambiente favorável para sua expansão. Além disso, o crescimento da geração distribuída tem impulsionado o setor. Segundo EPE (2021, p. 54), “o Brasil possui um dos maiores potenciais solares do mundo, o que favorece a adoção de sistemas fotovoltaicos”.

Outro ponto relevante refere-se à valorização imobiliária associada à instalação de sistemas fotovoltaicos, uma vez que imóveis com geração própria de energia tendem a apresentar maior atratividade no mercado. Conforme destaca REN21 (2022, p. 105), “a adoção de sistemas de energia renovável pode aumentar o valor de mercado das propriedades”.

Dessa forma, observa-se que a viabilidade econômica e ambiental da energia solar fotovoltaica está fundamentada em benefícios de longo prazo, tanto financeiros quanto sustentáveis. A redução de custos, aliada à preservação ambiental, consolida essa tecnologia como uma solução eficiente e estratégica para o futuro energético.

3 METODOLOGIA

No que se refere à metodologia, a presente pesquisa caracteriza-se como de natureza qualitativa, uma vez que busca a compreensão aprofundada dos fenômenos relacionados à energia solar fotovoltaica, sem a utilização de métodos estatísticos. Segundo Antônio Carlos Gil (2008, p. 27), “a pesquisa qualitativa tem como objetivo principal a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados”, o que se adequa à proposta deste estudo.

Quanto aos objetivos, a pesquisa apresenta caráter descritivo e exploratório. A abordagem descritiva visa detalhar as características dos sistemas fotovoltaicos e seus processos de instalação, enquanto a exploratória proporciona maior familiaridade com o tema. Conforme Eva Maria Lakatos e Marina de Andrade Marconi (2010, p. 171), “a pesquisa exploratória tem como finalidade proporcionar maior compreensão do problema, tornando-o mais explícito”.

O desenvolvimento do estudo foi realizado por meio de revisão bibliográfica, utilizando fontes técnicas e científicas relevantes, como livros especializados, artigos acadêmicos, normas regulamentadoras e publicações do setor elétrico. De acordo com Severino Antônio Joaquim (2016, p. 122), “a pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos ou digitais”.

Essa abordagem metodológica possibilita a organização e análise sistematizada das informações, contribuindo para a construção do conhecimento científico. Nesse sentido, conforme destaca José Carlos Köche (2011, p. 122), “a

pesquisa bibliográfica permite ao pesquisador conhecer e analisar as principais contribuições teóricas existentes sobre determinado tema”.

Dessa forma, a metodologia adotada mostra-se adequada aos objetivos propostos, uma vez que permite a integração entre teoria e prática, proporcionando uma análise consistente e fundamentada acerca da energia solar fotovoltaica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos ao longo desta pesquisa evidenciam que a energia solar fotovoltaica apresenta elevada aplicabilidade técnica, especialmente em regiões com alta incidência de radiação solar. Nesse sentido, conforme destaca Tolmasquim (2016, p. 54), “o Brasil possui condições naturais altamente favoráveis para o aproveitamento da energia solar”, o que reforça a viabilidade de expansão dessa tecnologia no país.

Do ponto de vista do funcionamento dos sistemas, observa-se que a confiabilidade da conversão de energia é sustentada por princípios físicos consolidados. Segundo Villalva (2015, p. 45), “o efeito fotovoltaico consiste na geração de energia elétrica a partir da radiação solar”, demonstrando a eficiência do processo de conversão energética empregado nesses sistemas.

A aplicabilidade técnica também está diretamente relacionada à qualidade dos componentes utilizados, especialmente os módulos fotovoltaicos. Conforme Pinho e Galdino (2014, p. 67), “os módulos fotovoltaicos são projetados para suportar condições adversas e garantir desempenho ao longo do tempo”, o que contribui para a robustez dos sistemas instalados.

No que se refere à instalação, verifica-se que o correto dimensionamento é determinante para o desempenho do sistema. De acordo com Messenger e Ventre (2010, p. 302), “o dimensionamento adequado assegura que a geração de energia esteja alinhada à demanda do consumidor”, evitando desperdícios e otimizando a eficiência energética.

Além disso, fatores como orientação e inclinação dos módulos influenciam diretamente a captação de energia solar. Segundo Boxwell (2019, p. 98), “a posição dos painéis solares é um dos principais fatores que determinam a eficiência do sistema”, evidenciando a importância de critérios técnicos na instalação.

Outro aspecto relevante refere-se à durabilidade dos sistemas fotovoltaicos, que impacta diretamente sua viabilidade econômica. Conforme Green (2003, p. 34), “os módulos fotovoltaicos apresentam longa vida útil e desempenho estável”, o que reduz custos operacionais ao longo do tempo e favorece o retorno do investimento.

No campo econômico, observa-se que a redução dos custos da tecnologia tem ampliado sua acessibilidade. Segundo IRENA (2021, p. 45), “a energia solar fotovoltaica tornou-se uma das fontes mais competitivas de geração elétrica”, consolidando sua viabilidade financeira em diferentes contextos.

A economia gerada na conta de energia elétrica também constitui um fator determinante para a adoção dessa tecnologia. Conforme REN21 (2022, p. 98), “a geração distribuída contribui significativamente para a redução dos custos com eletricidade”, tornando o investimento ainda mais atrativo para consumidores residenciais e comerciais.

Do ponto de vista ambiental, os benefícios da energia solar são amplamente reconhecidos. De acordo com Boyle (2012, p. 67), “a energia solar não produz emissões diretas de poluentes durante sua operação”, o que a caracteriza como uma fonte limpa e sustentável.

Dessa forma, conclui-se que a energia solar fotovoltaica reúne condições técnicas, econômicas e ambientais favoráveis à sua expansão. Como ressaltam Edenhofer et al. (2014, p. 15), “as fontes renováveis desempenham papel essencial na transição para um sistema energético sustentável”, consolidando a energia fotovoltaica como uma alternativa estratégica para o futuro da matriz energética.

5 CONCLUSÃO

A análise desenvolvida ao longo deste artigo permitiu compreender, de forma integrada, os principais aspectos relacionados à energia solar fotovoltaica, abrangendo seus fundamentos, processos de instalação e viabilidade econômica e ambiental. Observou-se que essa tecnologia se baseia em princípios físicos consolidados e apresenta elevado grau de confiabilidade, o que favorece sua aplicação em diferentes contextos.

No que se refere ao funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, verificou-se que o efeito fotovoltaico constitui um processo eficiente de conversão de energia,

especialmente quando associado a componentes de qualidade e corretamente dimensionados. A integração adequada entre módulos, inversores e demais dispositivos elétricos mostrou-se essencial para garantir o desempenho operacional e a segurança das instalações.

Em relação à instalação, constatou-se que fatores como orientação, inclinação, dimensionamento e conformidade com normas técnicas são determinantes para a eficiência do sistema. A adoção de critérios técnicos rigorosos contribui para a redução de perdas energéticas, aumento da vida útil dos equipamentos e minimização de riscos operacionais, evidenciando a importância da qualificação profissional na área.

Do ponto de vista econômico, os resultados indicam que, apesar do investimento inicial, a energia solar fotovoltaica apresenta retorno financeiro atrativo ao longo do tempo, especialmente em cenários de tarifas energéticas elevadas. A redução dos custos tecnológicos e a ampliação da geração distribuída reforçam ainda mais a viabilidade dessa fonte energética.

Sob a perspectiva ambiental, destaca-se que a energia solar fotovoltaica contribui significativamente para a redução das emissões de gases poluentes, sendo uma alternativa alinhada aos princípios da sustentabilidade. Sua utilização favorece a diversificação da matriz energética e reduz a dependência de fontes não renováveis, promovendo benefícios de longo prazo para a sociedade.

Dessa forma, conclui-se que a energia solar fotovoltaica se configura como uma solução eficiente, sustentável e economicamente viável, com grande potencial de expansão. Sua adoção representa não apenas um avanço tecnológico, mas também um passo importante rumo a um modelo energético mais equilibrado e ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BOXWELL, Michael. **Solar Electricity Handbook**. 2019. ed. Coventry: Greenstream Publishing, 2019.

BOYLE, Godfrey. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2012.

BRANKER, K.; PATHAK, M. J. M.; PEARCE, J. M. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 9, p. 4470–4482, 2011.

BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart C.; ALLEN, Franklin. **Principles of Corporate Finance**. 12. ed. New York: McGraw-Hill, 2018.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4. ed. New York: Wiley, 2013.

DUNLOP, James P. **Photovoltaic Systems**. 3. ed. Illinois: American Technical Publishers, 2012.

EDENHOFER, Ottmar et al. **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2021**. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS (ISE). **Photovoltaics Report**. Freiburg: Fraunhofer Institute, 2020.

FTHENAKIS, Vasilis M. Sustainability of photovoltaics: The case for thin-film solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, p. 2746–2750, 2009.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GREEN, Martin A. **Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications**. Sydney: University of New South Wales, 2003.

HONSBURG, Christiana; BOWDEN, Stuart. **Photovoltaics Education Website**. Arizona: Arizona State University, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2022**. Paris: IEA, 2022.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Power Generation Costs in 2020**. Abu Dhabi: IRENA, 2021.

KALOGIROU, Soteris A. **Solar Energy Engineering: Processes and Systems**. 2. ed. London: Academic Press, 2014.

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 29. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MASTERS, Gilbert M. **Renewable and Efficient Electric Power Systems**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2013.

MESSENGER, Roger; VENTRE, Jerry. **Photovoltaic Systems Engineering**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

REN21. **Renewables 2022 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2022.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2016.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.