

# Painéis Solares Flutuantes com Sistemas de Rastreamento: uma análise sob a perspectiva dos Níveis de Prontidão Tecnológica

*Floating Solar Panels with Tracking Systems: an analysis from the perspective of Technology Readiness Levels*

Sara Brigida Farias Ferreira<sup>1</sup>

Cláudio Henrique Cerqueira Costa Basquerotto<sup>1</sup>

Marcio Victor Pereira Barros<sup>2</sup>

João Antonio Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, PA, Brasil

<sup>2</sup> Norte Energia S.A., Vitória do Xingu, PA, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP, Brasil

## Resumo

Este estudo explora a inovação e a aplicabilidade dos painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento utilizando a metodologia dos Níveis de Prontidão Tecnológica (TRLs), baseada na norma ABNT NBR ISO 16290:2015, com o intuito de investigar o desenvolvimento tecnológico desses sistemas. Esse método permite uma avaliação padronizada e dinâmica do estágio de desenvolvimento das tecnologias estudadas. O objetivo geral deste trabalho é avaliar o estágio atual de desenvolvimento dos painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento, utilizando a metodologia dos Níveis de Prontidão Tecnológica (TRLs) a partir de uma abordagem bibliométrica e uma prospecção de patentes. A análise da TRL ofereceu uma visão do avanço tecnológico em energia solar e destacaram o potencial e os desafios dos painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento, enfatizando a necessidade de pesquisa, desenvolvimento e colaboração entre setores para impulsionar a inovação e aplicação desses sistemas.

Palavras-chave: Níveis de Prontidão Tecnológica; Painéis Solares Flutuantes com Sistema de Rastreamento; Energia Renovável.

## Abstract

This study explores the innovation and applicability of floating solar panels with tracking systems using the Technology Readiness Levels (TRLs) methodology, based on the ABNT NBR ISO 16290:2015 standard, to investigate the technological development of these systems. This method allows for a standardized and dynamic assessment of the development stage of the technologies under study. The overall objective of this work is to evaluate the current development stage of floating solar panels with tracking systems, using the Technology Readiness Levels (TRLs) methodology through a bibliometric approach and a patent survey. The TRL analysis provided insight into the technological advancement in solar energy and highlighted the potential and challenges of floating solar panels with tracking systems, emphasizing the need for research, development, and collaboration across sectors to drive innovation and application of these systems.

Keywords: Technology Readiness Levels; Floating Solar Panels with Tracking System; Renewable Energy.

Áreas Tecnológicas: Propriedade Intelectual. Sustentabilidade. Níveis de Prontidão Tecnológica.



# 1 Introdução

Os Níveis de Prontidão Tecnológica (TRLs) são uma metodologia para avaliar o estágio de desenvolvimento de uma tecnologia. O uso dessa abordagem oferece um quadro comum para o entendimento de seu progresso tecnológico. A implementação dos TRLs pode mitigar riscos financeiros e cronogramas, conforme evidenciado pelo US Government Accountability Office (GAO). Projetos que integraram tecnologias abaixo do TRL 6 enfrentaram aumento substancial nos custos e atrasos. Em contraste, aqueles que incorporaram tecnologias acima do TRL 6 não experimentaram alterações significativas no orçamento ou no cronograma. Estudos adicionais reforçam que resolver questões tecnológicas previamente pode diminuir significativamente prazos e despesas. Essa metodologia se expandiu além do campo aeroespacial, adaptando-se a diversas áreas e gerando múltiplos “RLs” (Rocha; Ribeiro; Salgado, 2019).

A normalização veio com a ISO 16290:2013, traduzida como NBR ISO 16290:2015, especificando nove níveis de maturidade tecnológica. Criada inicialmente com sete níveis na década de 1960-1970 por Stan Sadin da Nasa, de acordo com Paternostro, Quintella e Leite (2020), a metodologia expandiu para nove níveis em 1995 e foi estabelecida pela NBR ISO 16290:2015. A avaliação se desdobra em seis aspectos, inspirando-se nas práticas do DoD, ESA e Nasa, usando ferramentas como o TRL Calculator do AFRL (Rocha; Ribeiro; Salgado, 2019).

A avaliação TRL começa pela decisão de quando e com que frequência aplicá-la, a formação de uma equipe competente, a identificação das tecnologias a serem avaliadas, a coleta da documentação necessária e, finalmente, o próprio processo de avaliação. Esse processo se realiza em reuniões em que se responde a um questionário baseado na NBR ISO 16290:2015 e metodologias adicionais. A compreensão da metodologia TRL é unificada inicialmente, e a tolerância na avaliação é considerada para determinar se a tecnologia pode avançar para o próximo nível de prontidão (Ribeiro; Frey; Azevedo, 2022).

Este trabalho investiga o papel inovador dos flutuadores solares com sistemas de rastreamento na área de energia solar. Aqui discute-se como a fusão da prospecção tecnológica, da propriedade intelectual e da transferência de tecnologia impulsiona o avanço e a aplicabilidade desses sistemas, destacando sua contribuição para a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental. São examinadas estratégias para a inovação de painéis solares flutuantes, incluindo a prospecção e a transferência de tecnologia, essenciais para identificar oportunidades e viabilizar o desenvolvimento de novos produtos.

Souza *et al.* (2018) analisam a maturidade tecnológica dos coletores solares, mostrando a evolução das patentes e a necessidade de inovação contínua para atender à crescente demanda energética. Já neste estudo, aborda-se, adicionalmente, a relevância da maturidade tecnológica para avaliar a viabilidade e o valor comercial de tecnologias, com ênfase nos estágios de desenvolvimento dos painéis solares flutuantes com sistema de rastreamento. Na discussão sobre inovação em energia renovável, destaca-se sua eficiência aprimorada por aproveitar superfícies aquáticas para instalação. A análise contempla a aplicabilidade dessa tecnologia em diferentes contextos geográficos e climáticos, bem como seu potencial de contribuição para a redução da evaporação de água e a melhoria na qualidade da água. Além disso, a tecnologia possui vantagens a partir dos seus aspectos técnicos, pois ajusta a posição dos painéis em relação ao sol, aumentando significativamente a captação de luz solar e, por consequência, a geração de energia.

Sistemas utilizando resistores dependentes de luz (LDRs) para capturar irradiação solar e controladores como o microcontrolador ATmega 328P para ajustar a posição dos painéis foram destacados como eficazes, conforme apontam Idoko *et al.* (2020). Experimentos mostraram que sistemas de rastreamento solar automáticos podem ser mais rentáveis e confiáveis, podendo aumentar a produção de energia em comparação aos sistemas fixos. Há uma vasta gama de estudos e de projetos focados em melhorar a eficiência dos sistemas de rastreamento solar, incluindo sistemas de um e dois eixos, o uso de diferentes materiais e técnicas, como sensores de luz, lógica *fuzzy*, e programação de controladores para otimização do rastreamento solar (Huang; Pan; Lin, 2016).

Tchao *et al.* (2022) descreve o desenvolvimento de um algoritmo de rastreamento que utiliza servomotores multieixos para o ajuste constante da posição de painéis solares, resultando em um aumento de eficiência de 23,95% no conjunto de painéis A. A eficácia aprimorada desse sistema o torna uma opção atrativa para diversas aplicações de energia solar, contribuindo para uma maior adoção dessa fonte de energia limpa e sustentável. Kumar e Subramaniam (2018) desenvolveram e avaliaram um sistema de rastreamento solar de duplo eixo e um concentrador solar, ambos baseados em RTC. O método de rastreamento emprega a hora atual e os sensores fotodiodos para ajustar a posição do concentrador solar, especialmente ao amanhecer. O sistema mostrou eficácia no acompanhamento da trajetória solar ao longo de diversos dias, meses e estações.

Esse segmento destaca a significância e a evolução dos painéis solares flutuantes equipados com sistemas de rastreamento, explorando a sinergia entre inovação tecnológica, prospecção tecnológica, propriedade intelectual e transferência de tecnologia no contexto da energia solar. A investigação aborda como esses componentes são vitais para o avanço e a aplicação efetiva dessa tecnologia, enfatizando seu papel em aprimorar a eficiência energética e promover a sustentabilidade ambiental, de acordo com Chen *et al.* (2022).

A prospecção tecnológica e a transferência de tecnologia são detalhadas como fundamentais para a inovação em painéis solares flutuantes, permitindo a identificação de novas oportunidades e a partilha de conhecimentos e de propriedade intelectual para fomentar o desenvolvimento econômico. Esse processo é descrito como um ciclo de quatro etapas: identificação de necessidades; coleta e análise de informações; avaliação e seleção de tecnologias; e implementação e monitoramento, destacando sua aplicabilidade em diversos setores.

Os painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento foram instalados em diversas localidades ao redor do mundo. Vários projetos envolvendo painéis solares flutuantes equipados com sistemas de rastreamento foram implementados globalmente, especialmente em nações que possuem um alto potencial para energia solar e enfrentam limitações de espaço disponível para instalar painéis solares tradicionais, como ocorre na Coreia do Sul (Lopes *et al.*, 2022). A Norte Energia anunciou, em 2021, seu plano de instalar painéis solares no Rio Xingu, especificamente na área da Usina Hidrelétrica Belo Monte, com o objetivo de fornecer energia elétrica à região. De acordo com a empresa, esses painéis serão montados em estruturas flutuantes, contribuindo, assim, para a preservação ambiental local (Norte Energia, 2021).

Embora a revisão bibliográfica aborde predominantemente os avanços e as aplicações dos sistemas de rastreamento solar, algumas desvantagens e desafios associados a essas tecnologias

podem ser inferidos indiretamente. Primeiramente, os sistemas de rastreamento solar tendem a ter um custo inicial mais elevado em comparação com sistemas solares fixos, incluindo não apenas os componentes do próprio sistema de rastreamento, mas também sua instalação e integração. Adicionalmente, a presença de componentes móveis, como motores e atuadores, introduz uma complexidade operacional e de manutenção maior, o que pode levar a custos operacionais e de manutenção aumentados ao longo do tempo (Martins; Giesbrecht, 2023).

A durabilidade e a confiabilidade desses sistemas também podem ser afetadas pela exposição contínua a condições climáticas adversas e pelo desgaste dos componentes móveis, resultando em custos adicionais de reparo e de substituição e potencial redução da eficiência energética. É importante considerar que, embora os sistemas de rastreamento solar possam oferecer maior eficiência na captação de energia solar, o aumento da eficiência deve ser avaliado em relação ao custo adicional do sistema. Em algumas situações, o benefício em eficiência pode não justificar o investimento adicional.

Além disso, a eficácia dos sistemas de rastreamento solar pode variar consideravelmente de acordo com a localização geográfica, o clima e a topografia da área. Em locais com alta variabilidade climática ou com restrições de espaço, esses sistemas podem não ser a solução mais prática ou eficiente (Laseinde; Ramére, 2019). Questões como impacto visual e uso do solo também são considerações importantes, especialmente para instalações em grande escala, em que a preservação da paisagem e as restrições de uso do solo podem ser fatores críticos.

Apesar desses desafios, é evidente que os avanços na tecnologia dos sistemas de rastreamento solar continuam a buscar soluções para mitigar tais desvantagens, visando melhorar a eficiência, reduzir os custos e aumentar a durabilidade e a confiabilidade desses sistemas. A decisão entre adotar sistemas de rastreamento solar ou sistemas fixos deve, portanto, basear-se em uma análise detalhada das necessidades específicas, dos custos envolvidos, dos benefícios esperados e das condições locais.

## 2 Metodologia

A metodologia desenvolvida tem como objetivo principal utilizar a Calculadora TRL criada pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) para determinar o Nível de Prontidão Tecnológica (TRL) da tecnologia objeto deste estudo. Posteriormente, foi realizada a coleta de dados por meio de *checklists* detalhados conforme especificado pela Norma ABNT NBR ISO 16290:2015. Essa coleta é essencial para a preparação da avaliação a ser realizada pela Calculadora TRL.

De acordo com Rocha, Ribeiro e Salgado (2019), o uso da Calculadora TRL permite uma análise dinâmica, padronizada e imediata dos dados coletados, facilitando o processo de avaliação. Essa ferramenta, hospedada em um aplicativo Microsoft Excel, é instrumental para a execução da metodologia, abrangendo desde a definição dos parâmetros da avaliação até a aplicação de um questionário detalhado que examina aspectos técnicos, econômicos, político-legais e de gestão da tecnologia em estudo, sendo a sua tela inicial apresentada pela Figura 1.

**Figura 1** – Tela inicial da Calculadora TRL IAE/ITA



Fonte: ITA (2021)

Finalizando o processo, um relatório TRL é gerado, apresentando uma visão comparativa entre os resultados obtidos pela metodologia proposta e aqueles baseados na avaliação padrão da NBR ISO 16290:2015.

Os dados utilizados para responder às perguntas da calculadora obtidos na base de dados Questel Orbit, o qual conta com ampla abrangência com a disposição de 87 escritórios (Calzans *et al.*, 2021), e as palavras-chave usadas para a pesquisa de patentes relacionadas a painéis solares flutuantes com sistema de rastreamento foram uma combinação específica de termos técnicos e descritivos, a saber: *(Floating Solar Panel OR "Floating Solar Plate OR Buoy OR Float OR Solar Collector OR Solar Energy)AND((Rotation OR Rotational OR Rotate OR Turnover) AND (Monitoring OR Control OR Tracking OR Tracker OR Trace OR GPS) AND (Change OR Position OR Tilt OR Flexible))*.

Junto a isso, a pesquisa adotou a bibliometria, realizando uma busca sistematizada em bases de dados seguida por análise dos resultados, que é uma técnica amplamente utilizada e precisa para examinar e interpretar grandes conjuntos de dados científicos. Esse método facilita a compreensão das tendências de desenvolvimento em um campo específico (Silva; Dutra; Figueiredo, 2023).

Na Web of Science, as palavras-chave empregadas para a análise bibliométrica centraram-se em aspectos amplos da energia solar e seu rastreamento, com o propósito de capturar uma gama vasta de publicações no campo. As palavras-chave específicas incluíram: *((solar AND energy AND tracking) OR (light AND gathering AND collector) OR (solar AND automatic AND tracking) OR (solar AND energy) OR (solar AND mirror AND bracket) OR (solar AND energy AND mirror) OR (incident AND slot )OR (sunlight AND irradiation AND angle) OR (solar AND tracking AND controller) OR (solar AND light AND tracking) OR (tracking AND solar AND energy))*. Para fins de análise, foram utilizados os 50 primeiros artigos mais relevantes.

### 3 Resultados e Discussão

Buscou-se pelos avanços e o estado atual da tecnologia de painéis solares flutuantes com sistema de rastreamento, baseando-se na análise de dados de patentes e nas publicações acadêmicas. Por meio da base de dados Questel Orbit e das análises bibliométricas, observa-se um aumento expressivo no número de patentes relacionadas a essa tecnologia, especialmente após 2020, indicando um interesse crescente no setor. A pesquisa destaca o período entre 2016 e 2020 como especialmente ativo em termos de desenvolvimento e aplicação de patentes, com um foco particular em inovações recentes.

Uma revisão das patentes revela um total de 5.015 patentes ativas e 5.641 expiradas, com uma concentração significativa de inovações patenteadas após 2020. Além disso, a análise de famílias de patentes concedidas mostra uma tendência de crescimento contínuo em inovações tecnológicas, com uma distribuição geográfica ampla que reflete a importância global dessa tecnologia. As áreas de aplicação variam amplamente, abrangendo desde engenharia civil e tecnologia ambiental até medição e transporte, destacando o caráter interdisciplinar e o potencial de aplicação da tecnologia.

No que tange à distribuição de patentes por países, a China lidera com um número significativo de registros, seguida por Coreia do Sul e Estados Unidos, evidenciando a liderança dessas nações em inovação e proteção de propriedade intelectual. Outros países também apresentam atividade relevante, embora em menor escala, indicando uma diversidade geográfica na inovação tecnológica.

A pesquisa complementar na base de dados Questel Orbit com termos adicionais relacionados a painéis solares flutuantes e a sistemas de rastreamento solar mostra um total de 23.839 famílias de patentes, destacando um aumento substancial na atividade de patenteamento após 2020 e reforçando a percepção de um pico de inovação e investimento em pesquisa e desenvolvimento na área.

A análise bibliométrica, conduzida na Web of Science, revela um crescimento constante nas publicações anuais relacionadas à energia solar e a sistemas de rastreamento, com um pico significativo em 2021. Isso sugere um interesse global contínuo e crescente em pesquisa e em desenvolvimento nas áreas de tecnologias solares.

A distribuição temática das publicações sublinha a interdisciplinaridade da pesquisa em energia solar, cobrindo desde combustíveis energéticos e ciência dos materiais até engenharia e tecnologias ambientais. Finalmente, a análise global de publicações por país destaca os Estados Unidos e a China como líderes em produção de conhecimento no campo, seguidos por Índia e diversos países europeus e asiáticos, demonstrando um esforço global contínuo na pesquisa e na inovação em tecnologias solares.

Com base na bibliometria realizada na Web of Science, foi possível identificar que os princípios básicos do rastreamento solar foram amplamente reconhecidos e bem documentados. As potenciais aplicações dessa tecnologia também foram exploradas em detalhes, abarcando uma gama de usos que vão desde o âmbito residencial até aplicações em escala industrial. Em relação aos estudos que confirmam os princípios básicos da tecnologia de rastreamento solar, há uma variedade de pesquisas e de artigos científicos que oferecem uma fundamentação sólida, apresentando dados experimentais e resultados de simulações que endossam a eficácia dessa tecnologia.

Até dezembro de 2023, a análise bibliométrica na Web of Science revelou um total de 378.989 publicações em painéis solares flutuantes e sistemas de rastreamento. O crescimento anual dessas publicações atingiu seu ápice em 2021, com 31.414 publicações, marcando o maior interesse e investimento na pesquisa de energia solar até então. A partir de 2012, observou-se um aumento notável na atividade de publicação, destacando-se como um ano de inflexão com mais de 14.000 publicações, refletindo um aumento significativo no engajamento com as tecnologias de energia solar.

Em termos de distribuição temática, as categorias “Combustíveis Energéticos”, “Ciência dos Materiais Multidisciplinar” e “Física Aplicada” foram as mais destacadas, indicando uma concentração de pesquisa em desenvolvimento tecnológico e inovação material. “Combustíveis Energéticos” liderou com 139.387 publicações, seguido por “Ciência dos Materiais Multidisciplinar” com 90.480 e “Física Aplicada” com 64.501 publicações.

Quanto à distribuição global das publicações, os Estados Unidos lideraram com 85.708 publicações, seguidos pela China com 81.901 e pela Índia com 33.467 publicações. Esse perfil ressalta o papel dominante desses países na pesquisa de energia solar e destaca a Índia como um centro emergente de inovação nesse campo. A análise bibliométrica, portanto, sublinha o crescente interesse global em tecnologias de energia solar, refletido no aumento substancial do volume de publicações, na diversidade temática da pesquisa e na distribuição geográfica ampla dos esforços de pesquisa.

Embora a documentação analisada não especifique leis ou pressupostos que impactam diretamente o desenvolvimento dessa tecnologia, as discussões se focam mais nos aspectos técnicos e na eficiência. Informações a respeito dos riscos, custos e cronogramas para o desenvolvimento da pesquisa tecnológica não foram encontradas nos trechos apresentados, o que pode sugerir a necessidade de uma investigação mais aprofundada para esclarecer esses aspectos.

Os estudos e a pesquisa sobre a tecnologia de rastreamento solar são conduzidos por uma comunidade científica global, como evidenciado pela diversidade de autores e de estudos mencionados nas publicações analisadas. No entanto, não foram encontradas menções específicas sobre fontes monetárias ou *stakeholders* diretamente interessados na realização dessa tecnologia nos trechos disponibilizados.

Importante ressaltar que a Norte Energia possui um projeto que integra a tecnologia de rastreamento solar com painéis solares flutuantes na Hidrelétrica de Belo Monte. Essa iniciativa aponta para a relevância do tema no país e destaca o engajamento de empresas locais em pesquisas e aplicações práticas da tecnologia.

A pesquisa em ambiente exploratório é um elemento que perpassa os trabalhos citados, comprovando que a área está em constante desenvolvimento e inovação. Além disso, o levantamento realizado confirma a existência de um número significativo de publicações científicas, encontradas em revistas, anais e em congressos, que discutem e avaliam a tecnologia de rastreamento solar, demonstrando o reconhecimento e o interesse contínuo da comunidade acadêmica nesse campo de estudo.

Com base em tais informações, apresenta-se a TRL 1 da Calculadora TRL IAE/ITA, conforme mostra a Figura 2:

**Figura 2** – Preenchimento da TRL 1 sobre os princípios básicos e reportados

ISO	TRL 1: Princípios básicos observados e reportados	
ESP	% Completa	
I		<input checked="" type="checkbox"/> Foram identificados os princípios básicos?
I		<input checked="" type="checkbox"/> Foram identificadas potenciais aplicações para a tecnologia?
E	100	Foram documentado os estudos que confirmam os princípios básicos?
E		Foram identificadas leis e pressupostos utilizados na nova tecnologia e não proíbem o desenvolvimento?
E		Foi levantada e documentada a ideia dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento da pesquisa tecnológica?
E	100	Foi identificado quem e onde será realizada as pesquisas da tecnologia?
E		Existe fonte monetária ou interessados, stakeholders (patrocinadores) na concretização da tecnologia?
E	100	Foi levantado se alguma outra instituição de pesquisa ou empresa está pesquisando a tecnologia no país?
E	100	Foi realizada pesquisa em ambiente exploratório?
E	100	Existem publicações científicas em revistas/ anais/ congressos a respeito da tecnologia?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

Na revisão bibliográfica realizada na Web of Science, foram formuladas as possíveis aplicações da tecnologia de rastreamento solar, destacando-se sua utilidade em diversas áreas, inclusive no carregamento de dispositivos móveis. A pesquisa contemplou a implementação desses sistemas em ambientes de trabalho reais, enfatizando a prática e a teoria, conforme a apresentado na Figura 3.

As funções essenciais da tecnologia, como o aumento da eficiência energética e a precisão dos sistemas de rastreamento, foram claramente identificadas. A viabilidade das aplicações, sustentada por estudos, foi bem documentada, expondo as capacidades avançadas de detecção e a eficiência energética aprimorada que tais sistemas oferecem. Funcionalidades específicas da tecnologia, incluindo o ajuste automático ao movimento do sol, foram reconhecidas.

Foram também reconhecidos e documentados os GAPs da tecnologia, com foco em desafios de controle e limitações dos sensores, e as abordagens para superar essas barreiras. O suporte a programas e a projetos é evidente, com menções a sistemas projetados para residências e iluminação pública, além de projetos como o da Norte Energia, que integra rastreamento solar com painéis solares flutuantes em Belo Monte.

Os potenciais clientes são variados, incluindo regiões com alta demanda energética e países em desenvolvimento, onde tais sistemas podem contribuir para uma oferta de energia mais sustentável. O interesse dos clientes na aplicação da tecnologia é subentendido pelo enfoque em atender às necessidades energéticas de forma eficiente e ambientalmente responsável, indicando um mercado receptivo às inovações do rastreamento solar.

**Figura 3** – Preenchimento da TRL 2 sobre os princípios básicos e reportados

ISO	TRL 2: Conceito tecnológico e/ou aplicação formulados	
ESP	% Completa	
I		<input checked="" type="checkbox"/> Foram formuladas as potenciais aplicações?
E	100	Foi realizada pesquisa em ambiente de trabalho?
E	100	Foram identificadas as principais funções a serem desempenhadas pela tecnologia?
E	100	Foi documentada a viabilidade das aplicações confirmadas por estudos?
E	100	Foi identificada a funcionalidade da tecnologia?
E	100	Foram identificados possíveis GAP's da tecnologia e documentados?
E	100	Sabe que programa (projeto) a tecnologia vai apoiar?
E	100	Foram identificados potenciais clientes?
E	100	Cliente demonstra interesse na aplicação?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

Para responder às questões apresentadas na Figura 4, com base na documentação fornecida, é possível afirmar que os requisitos de desempenho da tecnologia foram especificados, como demonstrado pelo desenvolvimento e resultados comparativos de um sistema de rastreamento solar. Os componentes que devem trabalhar juntos foram identificados e documentados, evidenciando uma visão sistêmica, com detalhamento de elementos como painéis solares, motores e sensores LDR.

Ademais, a viabilidade científica da tecnologia foi plenamente demonstrada por meio dos resultados experimentais que suportam a eficácia das abordagens de rastreamento solar discutidas. As técnicas de desenvolvimento da tecnologia foram identificadas e desenvolvidas, incluindo o uso de algoritmos difusos e controladores *fuzzy*. Componentes-chave para a fabricação também foram destacados nos artigos analisados.

No entanto, as informações disponíveis não permitem confirmar se o projeto conceitual do elemento foi concretizado e documentado, se os possíveis defeitos da tecnologia foram identificados em experimentos de laboratório, se os conceitos de fabricação foram avaliados, ou se os riscos, custos e cronograma para o desenvolvimento do protótipo foram documentados. Esses aspectos específicos podem exigir uma investigação mais detalhada dos artigos e dos relatórios técnicos completos.

**Figura 4** – Preenchimento da TRL 3 sobre os princípios básicos e reportados

ISO	ESP	% Completa	TRL 3: Prova de conceito experimental e analítica, da função crítica e/ou característica
I			<input type="checkbox"/> Foi concretizado a realização do projeto conceitual do elemento e documentado?
I			<input checked="" type="checkbox"/> Foram especificados os requisitos de desempenho da tecnologia?
E		100	Foi verificada a viabilidade da aplicação por experimentos de laboratório (simulação)?
E			Foram identificados os possíveis defeitos da tecnologia em experimentos de laboratório?
E		100	Foram identificados e documentados os componentes que devem trabalhar juntos(visão sistêmica)?
E		100	Foi plenamente demonstrada a viabilidade científica da tecnologia?
E		100	Foram identificadas e desenvolvidas as técnicas de desenvolvimento da tecnologia?
E			Foram avaliados os conceitos de fabricação da tecnologia?
E		100	Foram identificados os componentes chaves para fabricação?
E			Foi documentada a ideia dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento do protótipo?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

De acordo com os artigos revisados para responder à TRL 4 da Figura 5, foi realizado um projeto conceitual para a tecnologia de rastreamento solar, com vários estudos enfocando sistemas de rastreamento e concentração eficientes. Os componentes individuais foram testados em laboratórios, com relatórios detalhando testes e depuração de sistemas de rastreamento solar de baixo custo e de duplo eixo automático. Os possíveis GAPs da tecnologia foram identificados, apontando limitações dos sistemas de rastreamento existentes e propondo soluções inovadoras para superá-las.

Requisitos gerais do sistema para aplicação aos usuários finais foram estabelecidos, demonstrando como os projetos visam a aumentar a eficiência dos painéis solares. Métricas de desempenho, como a precisão do rastreamento do ângulo zenital e azimutal solar, foram estabelecidas, e análises de custo para o desenvolvimento de protótipos de rastreamento solar também foram realizadas, relatando um aumento significativo na eficiência da geração de energia elétrica e fornecendo uma análise de custos associada. Embora não haja menção explícita a um cronograma específico para o desenvolvimento do protótipo nem a um programa de gestão de risco, estudos sobre a integração da tecnologia de rastreamento solar em projetos finais

foram conduzidos, destacando a integração em sistemas fotovoltaicos existentes para aumentar a eficiência energética.

**Figura 5** – Preenchimento da TRL 4 sobre os princípios básicos e reportados

ISO		
ESP	% Completa	<b>TRL 4: Validação funcional do componente e/ou "breadboard" em ambiente de laboratório.</b>
I		<input checked="" type="checkbox"/> Foi realizado o projeto conceitual da tecnologia?
E	100	Foram testados os componentes individuais em laboratórios e realizados relatórios?
E	100	Foram totalmente identificados os possíveis GAP's da tecnologia ?
E	100	Foram identificados os requisitos gerais do sistema para aplicação aos usuários finais?
E	100	Foram estabelecidas as métricas de desempenho da tecnologia?
E		Foi identificado os custos para desenvolvimento do protótipo?
E		Foi realizado o cronograma para desenvolvimento do protótipo?
E		Foi iniciado o programa de gestão de risco do protótipo?
E	100	Foram iniciados os estudos de integração da tecnologia ao projeto final?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

Os artigos analisados não detalham explicitamente sobre a definição preliminar de requisitos de desempenho no ambiente relevante. Contudo, é importante notar que o local escolhido para análise da tecnologia foi considerado como o ambiente relevante para tal definição. Também não há menção a um projeto preliminar do elemento que seja apoiado por modelos apropriados para a verificação de funções críticas, nem a um plano de teste de função crítica para a análise dos efeitos de escala. A estipulação da definição da placa de ensaio e a realização de testes dessa placa com relatórios também não são abordados na análise dos estudos.

Além disso, as publicações mais relevantes não fornecem informações sobre a identificação dos efeitos de possíveis falhas da tecnologia, requisitos de interface de sistema ou das interações entre componentes ou subsistemas. Não são discutidas as modificações em ambientes de laboratório com o propósito de aproximar esses dos ambientes operacionais para realização de testes. Por fim, não estão detalhados os processos de realização de testes tecnológicos dos componentes em ambientes considerados relevantes.

Apesar de os artigos dispostos na Web of Science conterem uma extensa revisão de sistemas de rastreamento solar e suas avaliações de desempenho, essas informações específicas não são o foco ou requerem uma busca mais aprofundada no conteúdo integral dos periódicos gerenciais de cada empresa fabricante para encontrar informações relacionadas.

**Figura 6** – Preenchimento da TRL 5 sobre os princípios básicos e reportados

ISO		
ESP	% Completa	<b>TRL 5: Validação funcional do componente e/ou "breadboard" em ambiente de relevante.</b>
I		<input checked="" type="checkbox"/> Foi realizado a definição preliminar de requisitos de desempenho no ambiente relevante?
I		<input type="checkbox"/> Foi realizado o projeto preliminar do elemento, suportado por modelos apropriados para a verificação funções críticas?
I		<input type="checkbox"/> Foi realizado plano de teste de função crítica para análise dos efeitos de escala?
I		<input type="checkbox"/> Foi estipulado a definição placa de ensaio para a verificação da função crítica?
I		<input type="checkbox"/> Foram realizados os testes de teste placa de ensaio com relatórios?
E		Foram identificados os efeitos das possíveis falhas da tecnologia (se houver)?
E		Foram identificados os requisitos de interface de sistema?
E		Foram identificadas as interações entre os componentes / subsistemas?
E		Foi realizada modificações no ambiente de laboratório para aproximar ambiente operacional deixando apto a testes?
E	100	Foram realizados testes tecnológicos dos componentes em ambiente relevante?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

Os artigos não especificam se a identificação e a análise das funções críticas do elemento foram realizadas e documentadas em relatório. É reconhecido que o ambiente relevante de funcionamento para o sistema é conhecido. Contudo, não há menção se a definição do requerimento de desempenho e do ambiente relevante foi realizada e documentada.

Não consta informação acerca da documentação dos requisitos completos do sistema e do subsistema para funcionamento. As avaliações das características de desempenho da tecnologia foram concluídas, mesmo considerando os possíveis GAPs. Não foi mencionado se a aquisição de dados da manutenção real, da confiabilidade e dos dados de suporte foi iniciada. Além disso, os artigos não relatam se um modelo representativo (protótipo) completo foi testado em laboratório, num ambiente operacional de alta fidelidade (simulação).

Tais conclusões foram usadas como base para as respostas da TRL 6, conforme mostra a Figura 7.

**Figura 7** – Preenchimento da TRL 6 sobre os princípios básicos e reportados

ISO	ESP	% Completa	TRL 6: Demonstração do modelo ou protótipo do sistema/subsistema em ambiente relevante.
I		<input type="checkbox"/>	Foram realizados identificação e análise das funções críticas do elemento e verificadas as funções críticas e documentadas em relatório?
I		<input type="checkbox"/>	O ambiente relevante de funcionamento para eventual sistema é conhecido?
E	—		Foi realizada e documentada a definição de requerimento do desempenho e do ambiente relevante?
E	—		Foram documentados os requisitos completos de sistema e subsistema para funcionamento?
E	—	100	Foram concluídas as avaliações das características de desempenho da tecnologia mesmo com os possíveis GAPs?
E	—		Foi iniciada a aquisição de dados da manutenção real, confiabilidade e dados de suporte?
E	—		Foi testado o modelo representativo (protótipo) completo em laboratório, ambiente operacional de alta fidelidade (simulação)?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

A revisão bibliográfica examina uma variedade de estudos focados em aumentar a eficiência dos painéis solares e dos sistemas de rastreamento solar. Embora sejam discutidas as estratégias para otimizar o desempenho desses sistemas e sejam mencionados experimentos e análises comparativas que sugerem uma avaliação do ambiente operacional e dos modelos de teste, não há uma menção explícita à documentação específica de requisitos de desempenho ou definições do ambiente operacional.

Para além disso, os estudos relatam o sucesso dos sistemas de rastreamento solar em vários ambientes e condições, indicando testes bem-sucedidos de protótipos, mas não detalha a documentação específica desses testes ou a simulação das funcionalidades para demonstração em um ambiente operacional. A integração de protótipos em ambientes reais ou simulados é sugerida pela implementação prática dos sistemas de rastreamento solar descritos.

Por fim, embora as pesquisas apontem para a análise de custos e a viabilidade econômica dos sistemas de rastreamento solar, elas não discutem especificamente a documentação dos riscos, custos e cronograma para o desenvolvimento da tecnologia em escala. Portanto, apesar da riqueza de informações técnicas e experimentais fornecidas sobre os sistemas de rastreamento solar, as questões relacionadas à documentação formal dos processos de *design*, o teste e a análise econômica parecem não ser o foco central das publicações.

**Figura 8** – Preenchimento da TRL 7 sobre os princípios básicos e reportados

ISO	ESP	% Completa	TRL 7: Demonstração do protótipo do sistema em ambiente espacial.
I		<input type="checkbox"/>	Foi documentada a definição de requisitos de desempenho?
I		<input checked="" type="checkbox"/>	Foi documentada a definição do ambiente operacional?
I		<input checked="" type="checkbox"/>	Foi documentada a definição do modelo e da realização do teste?
E	—	50	Foi realizado testes em cada interface do sistema / software individualmente em condições de tensão e anômalas?
E	—	50	Foi simulado as funcionalidades disponíveis para demonstração em ambiente operacional?
E	—	100	Foi totalmente integrado o protótipo ao ambiente real demonstrado (ou simulado ambiente operacional)?
E	—	100	Foi realizado teste com sucesso do protótipo do sistema em um ambiente estipulado?
E	—		Foi realizado documentação do teste do modelo de protótipo?
E	—	100	Foi documentada a ideia dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento da tecnologia em escala?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

Os artigos obtidos não parecem responder diretamente às perguntas listadas na Figura 9, pois não há menção a um sistema ou produto específico que tenha sido testado ou integrado. Os estudos científicos versam sobre sistemas de rastreamento solar e tecnologias associadas. Portanto, não é possível afirmar, com base nas informações disponíveis, se as etapas mencionadas na imagem foram concluídas para um produto ou um sistema específico.

**Figura 9** – Preenchimento da TRL 8 sobre os princípios básicos e reportados

ISO	ESP	% Completa	TRL 8: Sistema real completo e qualificado em voo por meio de testes e demonstração.
I		<input type="checkbox"/>	Foi construído e integrado o modelo final no sistema final? (produto)
E	—		Foram realizados ajustes dos componentes a suas funções para deixar compatível com o sistema operacional?
E	—		Foi testado o sistema e caracterizado com seu design e função para a aplicação pretendida ?
E	—		Foram demonstrados os resultados o funcionamentos e a função da tecnologia em eventual teste de sistema de plataforma?
E	—		Foi concluído o processo de controle da interface?
E	—		Foi concluída a documentação formal de regulamentação?
E	—		Foi concluída a documentação da gestão e controle de configuração?
E	—		Foram demonstradas todas as funcionalidades em ambiente operacional simulado e sistema qualificados através de teste e avaliação na plataforma
E	—		Foi identificado que o sistema atende às especificações?
E	—		Foi iniciado no programa de gestão de risco em parceria com o desenvolvimento com a indústria?
E	—		Foi identificado os custos para desenvolvimento da tecnologia em escala ou transmitido o conhecimento em parceria com a indústria?
E	—		Foi estipulado cronograma para desenvolvimento em escala da tecnologia ou realizado trabalho em parceria com a indústria?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

Com a conclusão satisfatória dos relatórios de operação em funcionamento e a demonstração plena do sistema em condições reais, o projeto avançou significativamente. O conceito operacional foi implementado com êxito e a tecnologia prevista foi instalada e implantada na plataforma do sistema conforme o designado. As operações de missão, crucialmente, foram cumpridas com sucesso, confirmando a eficácia do sistema de missão real. Não há menção explícita acerca da fabricação para afirmar se seguiu rigorosos controles de processo, garantindo o nível de qualidade exigido, porém, é compreendido pelos relatos que sim. Durante o desenvolvimento, todos os detalhes pertinentes ao escalonamento, custos e cronograma foram meticulosamente documentados.

Além disso, a documentação final incorporou o processo de parceria e de transferência de conhecimento para a indústria, garantindo uma transição suave do desenvolvimento para a aplicação prática. Um plano de negócios detalhado foi elaborado para orientar o desenvolvimento da tecnologia, apoiando sua trajetória comercial e técnica. Publicações científicas e patentes foram efetuadas, reforçando o caráter inovador da tecnologia e protegendo sua propriedade intelectual. Por fim, a replicabilidade do projeto foi assegurada, com todos os requisitos sendo atendidos para permitir uma reprodução fiel em futuras implementações.

Tais conclusões obtidas foram utilizadas para preencher o questionamento da TRL 9, apresentado na Figura 10.

**Figura 10** – Preenchimento da TRL 9 sobre os princípios básicos e reportados

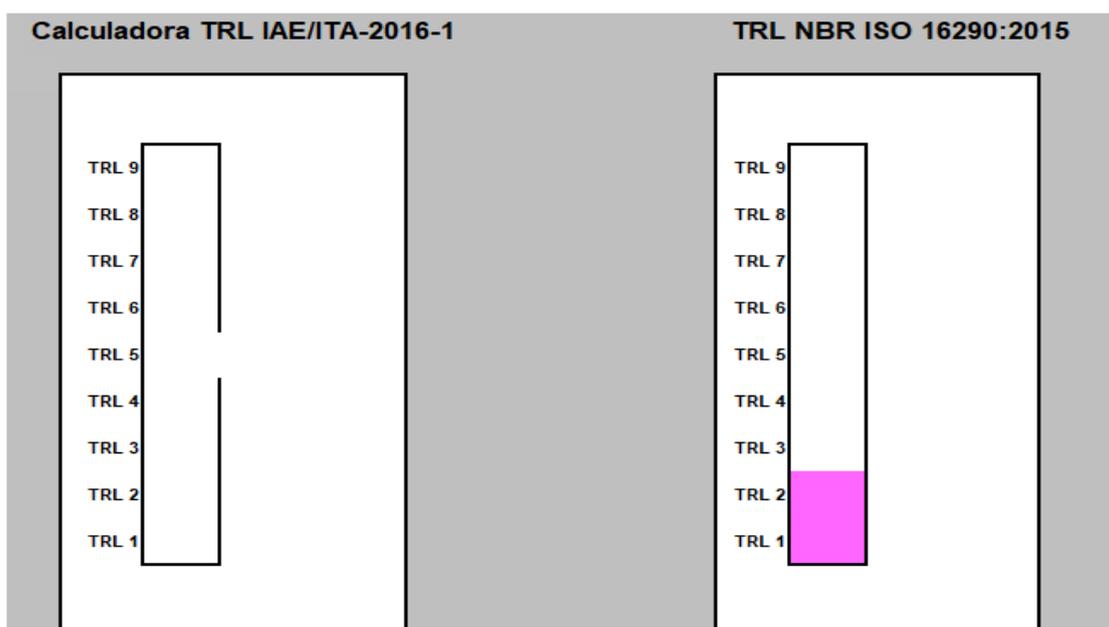
ISO	TRL 9 : Sistema real testado em funcionamento por meio de operações com missão alcançada.	
ESP	% Completa	
I		<input type="checkbox"/> Foi realizado comissionamento na fase de operação inicial?
I		<input checked="" type="checkbox"/> Foram finalizados os relatórios de operação em voo?
E	—	100 Foi plenamente demonstrado o sistema real?
E	—	100 Foi implementado com sucesso o conceito operacional?
E	—	100 Foi instalada e implantada a tecnologia em plataforma de sistema antes destinado?
E	—	100 Foi realizada através de operações de missão bem sucedida por sistema de missão real?
E	—	Foram realizados todos os processos de fabricação controlados para o nível de qualidade adequado?
E	—	Foi incluída na documentação o processo de desenvolvimento em escala, o custo e o cronograma para tal desenvolvimento?
E	—	Foi incluída na documentação final o processo de parceria e de transferencia de conhecimento para industria?
E	—	Foi realizado plano de negócio para desenvolvimento da tecnologia?
E	—	100 Foram realizadas publicações científicas e/ou patentes a respeito da tecnologia ?
E	—	100 É possível reproduzir o mesmo projeto com mesmos requisitos?

Fonte: Adaptada de ITA (2021)

A Figura 11 mostra dois gráficos de barra vertical, representando diferentes metodologias de avaliação dos Níveis de Prontidão Tecnológica (TRL), que são utilizados para medir o estágio de desenvolvimento de uma tecnologia. No gráfico à esquerda, etiquetado como “Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1”, todas as barras, correspondendo aos níveis de TRL de 1 a 9, estão vazias, o que indica que não foi feita uma avaliação ou que a tecnologia ainda não atingiu esses estágios de desenvolvimento.

No gráfico à direita, intitulado “TRL NBR ISO 16290:2015”, a barra correspondente ao TRL 1 está colorida, sugerindo que a tecnologia alcançou o primeiro nível de prontidão tecnológica conforme definido pela norma NBR ISO 16290:2015. Esse nível indica o reconhecimento dos princípios básicos da tecnologia. O preenchimento da TRL 1 reflete os resultados de uma análise bibliométrica que encontrou documentação sólida dos princípios básicos da tecnologia em estudo, nesse caso, o rastreamento solar.

**Figura 11** – Status da tecnologia



Fonte: Adaptada de ITA (2021)

Esses gráficos são ferramentas usadas para relatar visualmente o progresso da tecnologia por meio dos diferentes estágios de maturidade, e a diferença nos preenchimentos entre eles pode refletir variações nas metodologias de avaliação ou no progresso reconhecido de acordo com diferentes critérios ou em momentos distintos.

Nessa análise sobre a inovação dos painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento, é importante destacar a relevância do tema no contexto da propriedade industrial e da inovação tecnológica. A implementação e o desenvolvimento desses sistemas representam uma confluência de avanços tecnológicos e legais, aspectos econômicos e de valoração que são relevantes para o desenvolvimento regional e internacional. A integração desses painéis solares flutuantes em diferentes contextos geográficos e climáticos destaca não apenas seu potencial tecnológico na promoção da sustentabilidade e da eficiência energética, mas também a necessidade de um arcabouço legal e políticas de apoio que facilitem sua adoção e desenvolvimento.

## 4 Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma investigação sobre os painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento, explorando sua inovação, aplicabilidade e impacto na eficiência energética e sustentabilidade ambiental. Por meio da utilização da metodologia dos Níveis de Prontidão Tecnológica (TRLs) e de uma abordagem bibliométrica, foi possível avaliar o estágio atual de desenvolvimento dessas tecnologias e destacar sua relevância tanto no contexto global quanto no brasileiro.

A análise de TRL (Níveis de Prontidão Tecnológica) neste artigo segue a estrutura da norma ABNT NBR ISO 16290:2015, aplicando-a ao contexto dos painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento. Essa abordagem metodológica permite uma avaliação padronizada e dinâmica do estágio de desenvolvimento da tecnologia em estudo, desde a concepção teórica até sua aplicação prática e comercialização. Essa mesma abordagem foi enriquecida com dados coletados de patentes e de publicações acadêmicas, proporcionando uma visão abrangente do estado atual e do avanço tecnológico no campo da energia solar. Essa análise de TRL destaca tanto o potencial significativo quanto os desafios remanescentes para os painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento, sublinhando a necessidade de pesquisa contínua, o desenvolvimento e a colaboração entre setores para promover a inovação e a aplicabilidade dessa tecnologia no campo da energia solar.

Os resultados da pesquisa evidenciaram um aumento expressivo no interesse e no desenvolvimento tecnológico associado aos sistemas de rastreamento solar, particularmente após 2020. Isso reflete não apenas o potencial dessas tecnologias em termos de eficiência energética e redução de custos, mas também sua importância estratégica para a transição energética rumo a fontes mais sustentáveis. Embora o estudo tenha identificado avanços significativos na tecnologia de painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento, também foram reconhecidos desafios, como o custo inicial mais elevado e a complexidade operacional e de manutenção. No entanto, os esforços contínuos em pesquisa e desenvolvimento visam a mitigar essas desvantagens, promovendo melhorias na eficiência, na redução de custos e no aumento da durabilidade e da confiabilidade desses sistemas.

Os exemplos práticos de implementação em diferentes países, incluindo o Brasil, ilustram o potencial e a aplicabilidade dessa tecnologia em diversos contextos geográficos e climáticos. Essas iniciativas também destacam a importância da cooperação entre instituições de pesquisa, indústria e governo para fomentar a inovação e a transferência de tecnologia.

Em perspectiva, o estudo sugere que os painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento continuarão a ser uma área de grande interesse e desenvolvimento. À medida que a tecnologia avança e os custos diminuem, espera-se uma adoção mais ampla, contribuindo significativamente para a meta de uma energia mais limpa e sustentável. A investigação futura deve focar na superação dos desafios técnicos remanescentes, na otimização dos sistemas para diferentes ambientes e na exploração de novos materiais e tecnologias para maximizar a eficiência e o desempenho.

Portanto, este estudo auxilia para a compreensão da importância dos painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento, destacando sua contribuição para a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental. Encoraja-se a continuidade da pesquisa e o desenvolvimento nessa área, visando sua plena implementação e integração nas estratégias globais de energia renovável.

## 5 Perspectivas Futuras

Para os pesquisadores que pretendem avançar no estudo dos painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento, desenvolver uma abordagem objetiva e prática é essencial. A investigação futura deve focar na customização de sistemas para diferentes tipos de corpos d'água, atendendo, assim, às especificidades de cada localização empresarial. Esse esforço incluiria a avaliação de variáveis ambientais, como a dinâmica da água e as condições climáticas, para otimizar a instalação e o desempenho dos sistemas. A pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e tecnologias de rastreamento mais eficientes e menos custosos são imperativos. Isso exigiria colaborações multidisciplinares, combinando conhecimentos em engenharia, ciências materiais e sustentabilidade. Tais inovações poderiam reduzir o custo inicial e operacional, tornando a tecnologia mais acessível e atraente para o setor empresarial.

É recomendável que pesquisadores estabeleçam parcerias diretas com empresas interessadas na adoção dessas tecnologias. Essas colaborações permitiriam estudos de caso reais, nos quais os sistemas poderiam ser testados em condições operacionais, fornecendo dados valiosos sobre a viabilidade técnica e econômica. Além disso, tais parcerias poderiam facilitar a transferência de tecnologia e o desenvolvimento de projetos-piloto, essenciais para demonstrar a eficácia e os benefícios dos painéis solares flutuantes em ambientes corporativos reais.

Os pesquisadores deveriam também concentrar-se na elaboração de modelos econômicos que destaquem os retornos financeiros e os benefícios ambientais desses sistemas para as empresas. Estudos detalhados sobre a redução da pegada de carbono, economia de custos operacionais e potenciais incentivos fiscais poderiam persuadir mais empresas a investirem nessa tecnologia.

A nível global, espera-se que a adoção de painéis solares flutuantes com sistemas de rastreamento aumente significativamente. Países como China, Índia e Estados Unidos estão na vanguarda dessas tecnologias, impulsionando a inovação e reduzindo custos por meio de produção em larga escala e avanços tecnológicos. No Brasil, iniciativas como a instalação de

painéis solares flutuantes na Usina Hidrelétrica de Belo Monte demonstram o potencial e a aplicabilidade dessa tecnologia em diferentes contextos geográficos e climáticos.

Espera-se que, no futuro, a combinação de políticas públicas favoráveis, investimentos em pesquisa e desenvolvimento e a crescente conscientização ambiental impulsionem uma cultura de tecnologias de energia renovável, como os painéis solares flutuantes. A inovação contínua em materiais e em sistemas de rastreamento poderá aumentar a eficiência e a durabilidade desses sistemas, tornando-os uma opção viável e preferida para várias aplicações, desde pequenos projetos comunitários até grandes instalações industriais.

Globalmente, a expectativa é que a energia solar flutuante se torne uma parte essencial da matriz energética, contribuindo significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas. A economia circular e os serviços ecossistêmicos associados a essas tecnologias também são áreas promissoras para futuras pesquisas e desenvolvimentos, potencialmente transformando a maneira como a energia é produzida e consumida mundialmente.

Portanto, além de continuar as investigações específicas deste estudo, é essencial que os pesquisadores considerem o contexto mais amplo do desenvolvimento tecnológico e suas implicações socioeconômicas e ambientais, tanto no Brasil quanto no cenário global.

## Agradecimentos

Este estudo foi realizado no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico vinculado ao Regulador Brasileiro ANEEL no âmbito do projeto de P&D PD-07427-0122/2022, financiado pela Norte Energia SA, sendo assim, os autores agradecem pelo apoio.

## Referências

- CALAZANS, C. C. *et al.* Sementes Florestais e seu Potencial Tecnológico: uma análise de metadados. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 794-796, setembro, 2021. DOI: 10.9771/cp.v14i3.42765. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/42765>. Acesso em: 8 abr. 2024.
- CHEN, M. *et al.* Evaluation of solar energy transmission and heat-mass transfer in a floating solar concentrated distillation configuration. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. **Elsevier**, [s.l.], 2022.
- HUANG, C.; PAN, H.; LIN, K. Development of Intelligent Fuzzy Controller for a Two-Axis Solar Tracking System. **Applied Sciences-Basel**, [s.l.], v. 6, Issue 5, 2016. DOI: 10.3390/app6050130.
- IDOKO, J. A. *et al.* Design of Automatic Solar Tracking System Prototype to Maximize Solar Energy Extraction. In: IEEE PES/IAS POWERAFRICA, Nairóbi, Quênia, 2020, p. 1-5. **Anais [...]**. Nairóbi, Quênia, 2020. DOI: 10.1109/PowerAfrica49420.2020.9219860..
- ITA – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. Observatório Tecnológico (VDIR-CT-OT). **Calculadoras TRL e MRL**. 2021. Disponível em: <https://iae.dcta.mil.br/index.php/calculadoras-trl-e-mrl>. Acesso em: 1º abr. 2024.

- KUMAR, K. N.; SUBRAMANIAM, V. Real Time Clock based Energy Efficient Automatic Dual Axis Solar Tracking System. **Engineering Journal**, [s.l.], v. 22, n. 1, p. 15-26, jan. 2018. DOI: 10.4186/ej.2018.22.1.15.
- LASEINDE, T.; RAMÉRE, D. Low-cost automatic multi-axis solar tracking system for performance improvement in vertical support solar panels using Arduino board. **International Journal of Low-carbon Technologies**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 76-82, mar. 2019.
- LOPES, M. P. C. *et al.* Technical potential of floating photovoltaic systems on artificial water bodies in Brazil. **Renewable Energy**, [s.l.], 2022.
- MARTINS, Guilherme Santos; GIESBRECHT, Mateus. Hybrid approaches based on Singular Spectrum Analysis and k- Nearest Neighbors for clearness index forecasting. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 219, Part 1, 2023. DOI: 10.1016/j.renene.2023.119434.
- NORTE ENERGIA. **Projeto da Norte Energia vai levar energia solar a aldeias do Médio Xingu**. 2021. Disponível em: <https://www.norteenergiasa.com.br/pt-br/imprensa/releases/projeto-da-norte-energia-vai-levar-energia-solar-a-aldeias-do-medio-xingu-100942>. Acesso em: 1º out. 2022.
- PATERNOSTRO, A. G.; QUINTELLA, C. M.; LEITE, H. J. D. Pesquisa Exploratória Comparativa entre Artigos e Patentes Sobre Maturidade (Prontidão) Tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 13, n. 4, p. 1088-1089, setembro, 2020. DOI: 10.9771/cp.v13i4.33176. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/33176>. Acesso em: 8 abr. 2024.
- QUESTEL ORBIT INTELLIGENCE. **Base de dados**: Internet. 2024. Disponível em: <https://www.orbit.com>. Acesso em: 3 jan. 2024.
- RIBEIRO, M. E.; FREY, I. A.; AZEVEDO, P. Classificação das Patentes em Universidades Federais na Escala TRL (Technology Readiness Level): estudo de caso a partir da Norma ISO 16290:2013. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 15, n. 1, p. 117-130, janeiro a março, 2022. DOI: 10.9771/cp.v15i1.42173. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/42173>. Acesso em: 8 abr. 2024.
- ROCHA, D.; RIBEIRO, J. R.; SALGADO, M. C. V. Proposta de Padronização do Cálculo da Maturidade Tecnológica. In: ANDRADE, H. de S.; CHAGAS JUNIOR, M. de F.; SILVA, M. B. (org.). **Avaliação da Maturidade Tecnológica: conceitos e aplicações**. Jundiaí: Edições Brasil/Editora Fibra, 2019. p. 189-210.
- SILVA, A. P.; DUTRA, F. G. de C.; FIGUEIREDO, D. B. S. Aplicação da Inteligência Artificial na Segurança do Trabalho para a Prevenção de Acidentes: um estudo bibliométrico. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 16, n. 6, p. 1.956-1.970, outubro a dezembro, 2023. DOI: 10.9771/cp.v16i6.54587. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/54587>. Acesso em: 8 abr. 2024.
- SOUZA, Carlos Roberto Pinto de *et al.* Prospecção Tecnológica Aplicada a Tecnologias de Coleta de Energia Solar. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 11, n. 4, p. 1.085-1.098, dez. 2018.
- TCHAO, E. T. An Implementation of an Optimized Dual-Axis Solar Tracking Algorithm for Concentrating Solar Power Plants Deployment. **Scientific African**, [s.l.], v. 16, art. e01228, 2022. DOI: 10.1016/j.sciaf.2022.e01228.

## Sobre os Autores

### **Sara Brigida Farias Ferreira**

*E-mail:* sara\_farias@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6588-2305>

Mestre em Planejamento e Desenvolvimento Regional e Urbano na Amazônia.

Endereço profissional: Universidade Estadual do Tocantins, Sul Alameda 11 Lote 03, Cx. Postal 173, Palmas, TO. CEP: 77020-122.

### **Cláudio Henrique Cerqueira Costa Basquerotto**

*E-mail:* cbasquerotto@unifesspa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8289-5845>

Doutor em Engenharia Mecânica.

Endereço profissional: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Geociências e Engenharias, Folha 17, Quadra 4, Lote Especial, s/n, Nova Marabá, Marabá, PA. CEP: 68508-445.

### **Marcio Victor Pereira Barros**

*E-mail:* marciobarros@norteenergiasa.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5838-4659>

Graduado em Engenharia Civil.

Endereço profissional: Norte Energia S.A., Rodovia Transamazônica, Km 52, s/n, Vitória do Xingu, PA. CEP: 68383-000.

### **João Antonio Pereira**

*E-mail:* joao.a.pereira@unesp.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7260-3349>

Doutor em Engenharia Mecânica.

Endereço profissional: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Avenida Brasil, n. 56, Centro, Ilha Solteira, SP. CEP: 15385-007.