

# **Análise da Economia e Sustentabilidade com Energia Fotovoltaica para Escolas Quilombolas de Alcântara**

Yngrid Costa Gusmão<sup>1</sup>, Pedro Alves Fontes Neto<sup>2</sup>, Dailan de Jesus Pereira Bernardes<sup>3</sup>

## **Resumo:**

O Brasil destaca-se por reunir condições naturais que são favoráveis ao desenvolvimento de energias hidrelétricas, eólicas e fotovoltaicas. As regiões mais próximas ao equador, como a cidade de Alcântara, apresentam excelentes localizações para a geração de energia solar, pois pode apresentar maior eficiência quando comparadas com latitudes mais elevadas. O presente estudo objetivou estimar o potencial de geração de energia fotovoltaica nas escolas públicas de Alcântara e comunidades quilombolas da região. Foi adotada uma metodológica com métodos qualitativo, quantitativo e dedutivo, fundamentados na análise de dados obtidos com os procedimentos documentais, visitas de campo e estudos de caso. Os resultados obtidos incluem a apresentação dos investimentos necessários para a implementação de sistemas fotovoltaicos em cada escola investigada, a estimativa do retorno financeiro desses investimentos, a análise das estruturais dos telhados e a projeção do aumento das despesas com energia elétrica nas instituições pesquisadas para a próxima década. Observou-se, ainda, que escolas com maior consumo energético e maior infraestrutura apresentam retorno do investimento mais acelerado em comparação àquelas com demandas menores. Contudo, mesmo para instituições de menor porte, o investimento em sistemas solares se mostra financeiramente vantajoso e pertinente, reforçando a relevância da adoção de energias renováveis no contexto educacional.

**Palavras-Chave:** Energia fotovoltaica. Escolas públicas. Quilombolas.

## **1 Introdução**

Nos últimos anos as condições climáticas têm se mostrado incisivas para a geração de energia elétrica através das hidrelétricas no Brasil (GROSE; KING, 2023). Um possível motivo para essa escassez hídrica, pode ser a sazonalidade das chuvas que tem ocorrido com atraso a cada ano, o que leva os reservatórios das hidrelétricas a alcançarem patamares críticos. Isso força a geração de energia com o uso de gás natural ou petróleo nas termelétricas, que são bem mais caras que as energias renováveis, para que não ocorram desligamentos por falta de potência no horário de pico (FIORAVANTE, 2022). Este fato, tem induzido as concessionárias de energia elétrica no setor brasileiro a adotarem aumentos no preço da energia elétrica com as bandeiras amarela, vermelhas 1 e 2, além dos aumentos

---

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Meio Ambiente, IFMA – Campus Alcântara, e-mail: yngridcosta284@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutor em Física Espacial, Orientador, IFMA – Campus Alcântara, e-mail: pedro.fontes@ifma.edu.br.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia de Computação e Sistemas, Coorientador, IFMA – Campus Alcântara, e-mail: dailan.bernardes@ifma.edu.br.

anuais autorizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que antes da pandemia teve reajuste de 17% e depois da pandemia de 10,4% no Estado do Maranhão (ANEEL, 2023).

Por outro lado, a geração de energia elétrica pelo serviço público e autoprodutores alcançaram cerca de 677,1 TWh em 2022, destacando-se a autoprodução com aproximadamente 18,6%, que contribuiu para o total produzido, do qual 4,4% correspondem a geração de energia solar (BEN, 2023). O Brasil tem um grande potencial de geração de energia fotovoltaica que ainda pode crescer, principalmente, por ser beneficiado pelas fortes incidências de radiação solar durante o ano todo (OLIVEIRA et al., 2022; SANTOS et al., 2024). Dentro do seguimento de autoprodução de energia elétrica, as escolas da cidade de Alcântara e quilombolas dessa região podem se tornar autossuficientes em geração de energia. Além disso, é possível que se for utilizado a área total dos telhados para implementar células fotovoltaicas a energia gerada pode ser bem maior que a necessária para a subsistência das escolas e, por exemplo, poderia ser utilizada em outro estabelecimento das comunidades quilombolas da região alcantareense.

Outro ponto a ser observado na geração de energia fotovoltaica em relação as energias renováveis eólica e hidrelétrica, é que ela causa menos danos a natureza. A geração de energia eólica pode causar ruídos altos e constantes que pode prejudicar a audição humana nos locais de implementação das hélices, além de contribuir para a morte de pássaros migratórios durante seu funcionamento (TEFF-SEKER et al., 2022). Enquanto as hidrelétricas dependem de um grande espaço de desmatamento, as vezes com desapropriação de áreas de população quilombolas e ribeirinhas. Além disso, a vegetação alagada, que fica em grandes profundidades, pode gerar um ambiente anaeróbico capaz de gerar o gás metano (CH<sub>4</sub>), que é aproximadamente 40 (quarenta) vezes mais poluente que o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) (DA SILVA et al., 2021; ABREU; DAMÁZIO; DE AZEVEDO, 2022).

Assim, este trabalho tem por objetivo estimar através de dados reais e simulações a energia fotovoltaica que poderia ser gerada pelas escolas públicas da cidade de Alcântara e comunidades quilombolas da região. A investigação contemplou também a avaliação do impacto ambiental positivo proporcionado pela geração de energia solar nas escolas. Essa análise é fundamental para demonstrar os benefícios ambientais resultantes da adoção de sistemas fotovoltaicos, reforçando o potencial sustentável das instituições de ensino envolvidas. Na seção seguinte, apresenta-se a metodologia detalhando o método qualitativo, quantitativo e dedutivo com análise de dados coletados durante os procedimentos

documentais, visitas de campo e estudo de caso. Na seção 3, mostra-se os resultados e discussão do trabalho pautadas na literatura atualizada. Por fim, na última seção apresentamos as conclusões dos resultados encontrados.

## **2 Metodologia e Análise de Dados**

Para alcançar os objetivos foram empregados os métodos qualitativo, quantitativa e dedutivo após a análise de dados coletados com os procedimentos: documental, de campo e estudo de caso (MARCONI; LAKATOS, 2017). No espaço amostral da pesquisa foram analisadas 09 (nove) escolas dentro do universo das escolas públicas da cidade de Alcântara e comunidades quilombolas da região.

Além disso, foram realizadas buscas em fontes literárias como artigos científicos, documentos eletrônicos, contas de consumo de energia elétrica das escolas, sites nacionais e internacionais de simulações, visando enriquecer a pesquisa com o procedimento documental. Realizou-se também visitas em campo em algumas escolas públicas de Alcântara e quilombolas da região, para avaliar as áreas dos telhados que possam suportar os módulos fotovoltaicos e levantar os seus consumos mensais de energia elétrica. Os dados obtidos em campo serviram de base para o desenvolvimento de simulações e cálculos posteriores. Com essas informações, foi possível dar continuidade à investigação, visando a adequação dos projetos de geração fotovoltaica às necessidades reais das escolas participantes.

A etapa inicial de avaliação do local do telhado é importante no processo de implantação de sistemas fotovoltaico. Porém, tradicionalmente exige medições manuais, demoradas e, às vezes, perigosas. Atualmente, de posse das localizações via GPS (*Global Positioning System*) obtidas nos locais, foi possível utilizar o software SolarEdge, que tem análise integrada de imagens aéreas, para criar medições precisas dos telhados das escolas e projetos preliminares de sistemas solares. O SolarEdge Designer, disponível em: <https://www.solaredge.com/br/produtos/ferramentas-de-software/designer>, é uma plataforma online que permite realizar o dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos a partir da medição de telhados. Essa ferramenta ajuda a reduzir custos, aumenta a segurança e a precisão do planejamento na pré-instalação de sistemas fotovoltaicos.

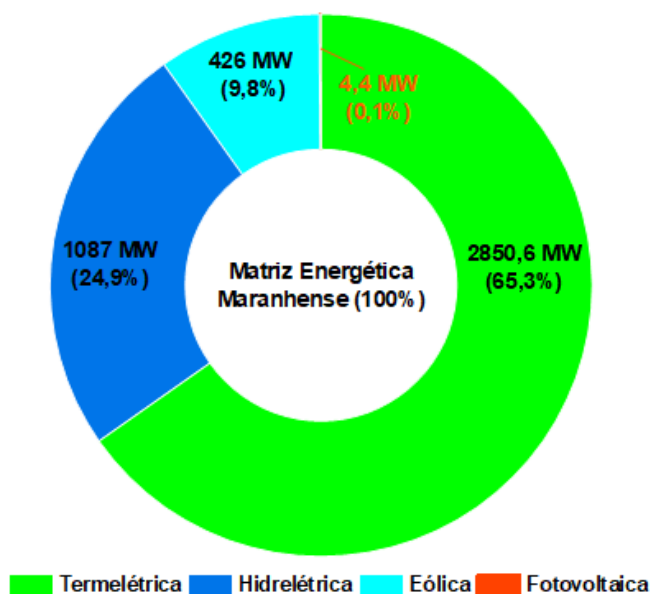
Adicionalmente, com os dados dos valores pagos mensalmente pelas escolas à concessionária, foi possível calcular individualmente os valores de cada projeto das escolas

e o tempo de retorno desses valores com a economia de energia com os sistemas fotovoltaicos, utilizando o site WEG Solar, disponível em: <https://www.weg.net/solar/br/calculadora/>. Assim, de posse dos dados de consumo de energia elétrica das escolas e de suas áreas de telhados foram realizadas as simulações da geração de energia fotovoltaica a partir dos dados coletados em campo para posterior discussão com plotagem de gráficos e tabela.

### 3 Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta um panorama detalhado da matriz energética do Estado do Maranhão em 2025, evidenciando a predominância da energia termelétrica e hídrica, que corresponde à maior parcela do total gerado. A Figura 1 mostra que a energia de biomassa utilizada nas termelétricas tem uma participação muito relevante, com aproximadamente 65,3% da matriz energética do Estado, sobretudo em cidades maranhenses com forte atividade agroindustrial (FERREIRA et al., 2018; SANTOS et al., 2024).

Figura 1 - Matriz energética maranhense das energias hídrica, eólica, fotovoltaica e biomassa em 2025.

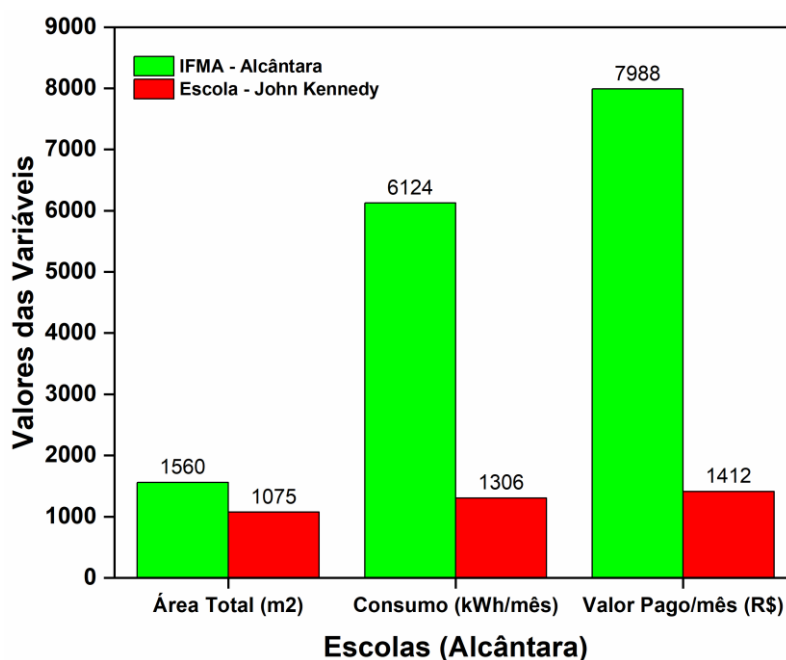


Fonte: ANEEL (2025).

Tradicionalmente, o Maranhão tem se beneficiado do potencial de recursos hídricos e de grandes bacias fluviais, fator que explica a expressiva porcentagem de geração proveniente de usinas hidrelétricas, cerca de 24,9% da matriz renovável estadual, ver Figura 1 (DE JONG et al., 2019; SANTOS et al., 2024). A fonte eólica, embora ainda represente uma fração menor da matriz maranhense, cerca de 9,8%, possui potencial considerável de expansão, especialmente nas áreas costeiras e nas regiões do leste maranhense, onde os ventos constantes favorecem o desenvolvimento de novos empreendimentos de parques

eólicos (DE JONG et al., 2019). Em relação a energia solar fotovoltaica, a Figura 1 mostra que o Maranhão tem apenas 0,1% em sua matriz energética. Mesmo não apresentando um destaque significativo, o Estado tem um grande potencial para geração de energia fotovoltaica, principalmente, por ter uma incidência expressiva de irradiação solar em sua região (OLIVEIRA et al., 2022; SANTOS et al., 2024). Santos et al. (2024) realizaram projeções futuras com modelos internacionais e prospectaram um aumento da radiação solar para o Maranhão acima de 20%, mesmo em cenários mais pessimistas. Isso se deve, principalmente, porque a região maranhense se encontra próxima à linha do Equador, que propicia um ambiente com um mínimo de variações nas horas diurnas e um nível alto de radiação solar (FERREIRA et al., 2018). Portanto, os resultados da Figura 1 reforçam o papel do Maranhão como possível protagonista nacional na geração de energia solar renovável.

Figura 2 - Variáveis dos dados das escolas IFMA e John Kennedy da cidade de Alcântara.



A Figura 2 mostra as áreas totais das escolas IFMA – Campus Alcântara e John Kennedy, localizadas na zona urbana de Alcântara. Separamos estas duas escolas por terem as maiores áreas de telhados que as demais instituições analisadas. A Figura 2 mostra que essas instituições têm seus espaços aptos à instalação de sistemas fotovoltaicos, cujas superfícies favorecem uma geração robusta e contínua de energia solar. O consumo mensal de energia elétrica e os valores pagos por mês por estas escolas revelam não apenas o porte das instalações, mas também que é possível uma solução energética que promova autonomia e redução de custos para estas instituições de ensino.

A Tabela 1 apresenta uma visão abrangente sobre o potencial de possíveis implantações de sistemas fotovoltaicos em diferentes escolas do município de Alcântara, evidenciando dados essenciais que vão desde a área disponível para instalação dos módulos solares até valores investidos e o tempo estimado para o retorno financeiro. Assim, a Tabela 1 sumariza todos os valores das áreas totais, consumo por mês, valores dos projetos para cada escola e o retorno dos valores investidos.

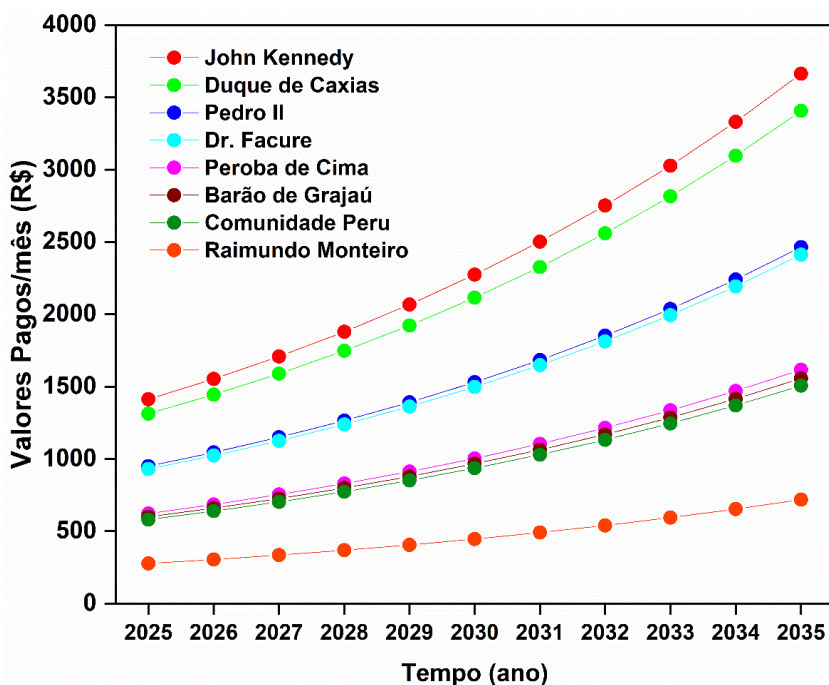
Tabela 1 - Relação de escolas de Alcântara analisadas durante a pesquisa.

<b>Escola</b>	<b>Cidade ou Quilombo</b>	<b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Consumo (kWh/mês)</b>	<b>Valor Pago/mês (R\$)</b>	<b>Valor Projeto (R\$)</b>	<b>Tempo Retorno</b>
<b>IFMA - Campus Alcântara</b>	Alcântara	1.560	6.124	7.988	190.102	51 meses (4,3 anos)
<b>Presidente John Kennedy</b>	Alcântara	1.075	1.306	1.412	35.921	64 meses (5,3 anos)
<b>Duque de Caxias</b>	Oitíua	936	1.252	1.313	33.399	64 meses (5,3 anos)
<b>Pedro II</b>	Arenhegava	551	921	950	25.692	69 meses (5,8 anos)
<b>Dr. Facure</b>	Santa Maria	505	862	930	25.155	69 meses (5,8 anos)
<b>Peroba de Cima</b>	Peroba de Cima	277	575	623	18.612	77 meses (6,4 anos)
<b>Barão de Grajaú</b>	Cajueiro	1.093	558	600	17.922	77 meses (6,4 anos)
<b>Comunidade de Peru</b>	Peru	1.115	538	581	17.345	77 meses (6,4 anos)
<b>Raimundo Júlio Monteiro</b>	Japeú	143	265	277	10.424	102 meses (8,5 anos)

A Tabela 1 também mostra que os valores investidos na implantação dos projetos variam de acordo com a dimensão do telhado da escola e o consumo mensal, ou seja, os maiores investimentos se concentram nas escolas de maior área do telhado. Adicionalmente, é importante destacar que o tempo de retorno do investimento, calculado com base na economia gerada mês a mês na conta de energia elétrica, oscila entre aproximadamente 5 anos, nas maiores escolas, a 8 anos, nas menores. Este intervalo é considerado bastante atraente frente à vida útil dos sistemas fotovoltaicos, que normalmente excede mais de duas décadas, garantindo anos de economia após o retorno do investimento inicial.

Outro ponto, é a evidência que escolas localizadas em áreas urbanas e de maior porte tendem a apresentar tempos de retorno mais curtos, em razão do elevado consumo e da maior área disponível para instalação dos painéis solares. Por outro lado, escolas menores ou situadas em comunidades mais afastadas, como Raimundo Monteiro, enfrentam desafios relativos à limitação de espaço e menor demanda energética, o que se traduz em um tempo de retorno mais longo. Além disso, a variabilidade dos custos investidos está diretamente relacionada à complexidade da infraestrutura local e à necessidade de adaptações técnicas para garantir eficiência na geração e distribuição da energia produzida (FONTES NETO; MOURA; RIBEIRO, 2020; SANTOS et al., 2024; IRENA, 2025).

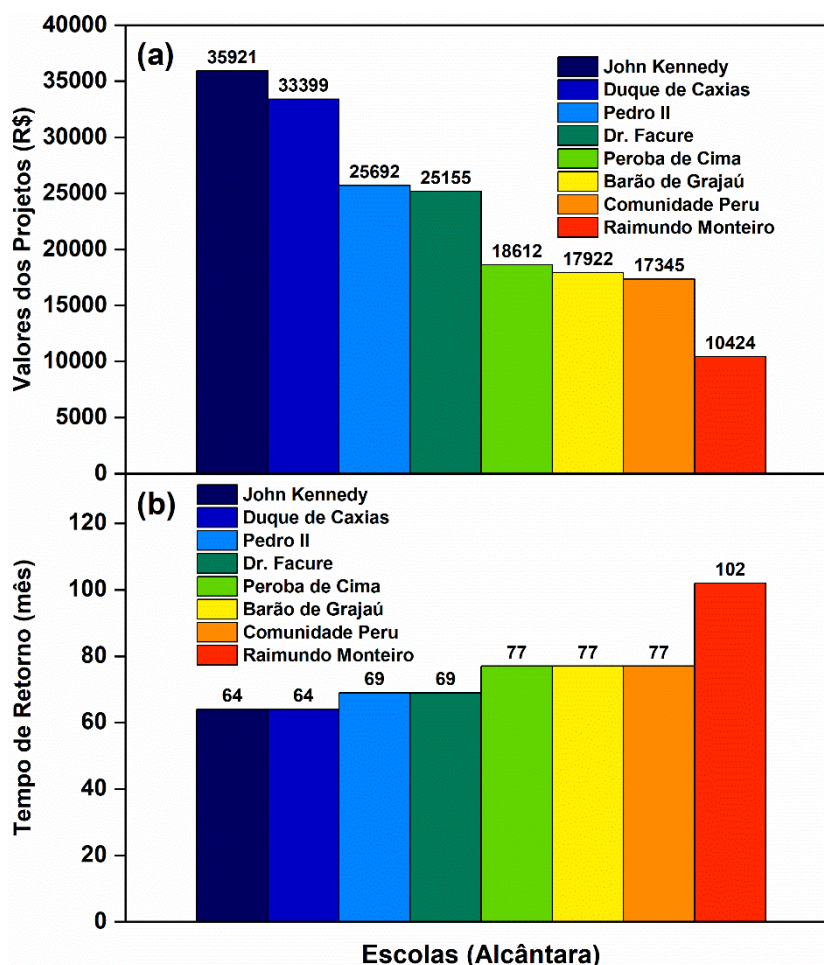
Figura 3 - Simulação de aumento anual com uma taxa de 10% a.a. dos valores pagos pelo período de 10 anos.



A simulação apresentada na Figura 3 mostra os efeitos acumulados de um reajuste anual de 10% ao ano (a.a.) nos valores pagos pelas escolas em suas contas de energia elétrica. Essa projeção mostra um crescimento exponencial dos custos ao longo dos anos, pressionando cada vez mais os orçamentos das instituições de ensino, especialmente aquelas que já enfrentam restrições orçamentárias e desafios estruturais. À medida que os aumentos anuais se acumulam, observa-se que o tempo de retorno sobre o investimento em sistemas fotovoltaicos tende a diminuir, tornando a adoção dessa tecnologia ainda mais vantajosa sob uma perspectiva financeira. Ou seja, quanto maior o valor futuro das faturas de energia, mais rapidamente o investimento em energia solar se paga.

Portanto, os resultados da Figura 3 reforçam o papel estratégico da implementação de sistemas fotovoltaicos nas escolas públicas da cidade de Alcântara e comunidades quilombolas da região, não apenas como resposta à necessidade de descarbonização e inovação, mas também como um mecanismo efetivo de proteção frente ao constante aumento dos custos energéticos, promovendo um ambiente educacional mais sustentável, resiliente e preparado para os desafios futuros.

Figura 4 - Valores dos investimentos dos projetos para cada escola e seus respectivos tempos de retorno.



A Figura 4 mostra a diferença nas simulações dos valores investidos em projetos fotovoltaicos entre as escolas de Alcântara e comunidades quilombolas. Observa-se que escolas urbanas de maior porte, devido ao seu elevado consumo energético e à disponibilidade de espaço para instalação dos painéis solares, recebem investimentos mais substanciais, mas também apresentam tempos de retorno mais rápidos. Em contrapartida, a Figura 4 também mostra que escolas menores, como Raimundo Monteiro, enfrentam limitações que afetam diretamente o valor do investimento e o tempo de retorno. Nesses casos, o menor consumo energético aliado ao espaço físico reduzido resulta em um retorno

mais demorado, exigindo dos gestores maior planejamento e estratégias diferenciadas para viabilizar o projeto. Outro ponto relevante que mostra a Figura 4 é que, embora o tempo de retorno seja mais longo em determinadas escolas, o investimento ainda se mostra vantajoso quando considerado o contexto de reajustes constantes nas tarifas de energia elétrica.

## **Conclusões**

As simulações mostraram o potencial de sistemas fotovoltaicos nas escolas de Alcântara, demonstrando que o investimento em energia solar não apenas é viável financeiramente, mas também é essencial para consolidar práticas de sustentabilidade e inovação. O envolvimento dos gestores públicos e o apoio a projetos de energia renovável são fundamentais para ampliar os benefícios observados e promover um ambiente sustentável com um desenvolvimento ambientalmente responsável.

Os resultados apresentados mostram que a economia gerada ao longo dos anos pode ser revertida em melhorias para as próprias instituições de ensino, beneficiando as comunidades quilombolas locais.

Por fim, a implementação de projetos fotovoltaicos deve considerar as peculiaridades de cada instituição, equilibrando investimento, demanda e capacidade de retorno. O planejamento personalizado se mostrou com o caminho para garantir que todas as escolas, independentemente da estrutura, possam usufruir dos benefícios econômicos e ambientais da energia solar na região de Alcântara.

## **Agradecimentos**

YCG agradece à Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), à SECTI e ao Governo do Estado do Maranhão, pelo fomento desta pesquisa por meio da bolsa com processo nº IC-JR-05315/24.

## **Referências**

ABREU, J. L. S.; DAMÁZIO, J. M.; DE AZEVEDO, J. P. S. Análise de sensibilidade de parâmetros em modelagem de qualidade da água para estimativa de emissões de metano em aproveitamentos hidrelétricos aplicada à fase pré-enchimento. **Revista Recursos Hídricos**, v. 43, n. 1, p. 23–36, mar. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Ranking da Tarifa Residencial**, 2025. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>. Acesso em: 10 de jun. 2025.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). **Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2023.

DA SILVA, D. B. et al. Spatiotemporal variation on water quality and trophic state of a tropical urban reservoir: a case study of the lake Paranoá-DF, Brazil. **Water**, v. 13, n. 22, p. 3314–3335, nov. 2021.

DE JONG, P. et al. Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. **Renewable Energy**, v. 141, p. 390–401, out. 2019.

FERREIRA, A. et al. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. jun. 2017, p. 181–191, jan. 2018.

FIORAVANTE, D. G. O preço da energia: o descontrole do abuso de controle. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, n. 70, p. 17–20, nov. 2022.

FONTES NETO, P. A.; MOURA, F. A. G. A.; RIBEIRO, G. P. Simulação de energia fotovoltaica: uma sequência didática alternativa para o ensino da eletrodinâmica. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 11, n. 4, p. 311–332, jul. 2020.

GROSE, M. R.; KING, A. D. The circulation and rainfall response in the southern hemisphere extra-tropics to climate stabilisation. **Weather and Climate Extremes**, v. 41, n. maio, p. 100577, set. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Energy Benefits Leveraging Local Capacity for Concentrated Solar Power 2 About Irena**, 2025. Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em: 08 de ago. de 2025.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

OLIVEIRA, A. C. L. DE et al. Spatial analysis of energy indicators and proposition of alternative generation sources for the Brazilian territory. **Journal of Cleaner Production**, v. 356, n. abril, p. 131894, jul. 2022.

SANTOS, P. R. DE A. et al. Projeções de Radiação Solar Incidente à Superfície e Nebulosidade Para a Região Nordeste do Brasil Através de um Conjunto de Modelos Climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 39, n. e39240036, p. 1–10, 2024.

TEFF-SEKER, Y. et al. Noise pollution from wind turbines and its effects on wildlife: A cross-national analysis of current policies and planning regulations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 168, n. agosto, p. 112801–112810, out. 2022.

WEG Solar. **Calculadora Solar**, 2025. Disponível em: <https://www.weg.net/solar/br/calculadora/>. Acesso em: 20 de jun. 2025