



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

Campus Araguatins

Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Agrônômica

Rosiel Moura Barbosa

Samara de Sousa Rodrigues

**USO DA ENERGIA SOLAR NO MEIO RURAL: ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS
ECONÔMICOS PARA OS PRODUTORES AGROPECUÁRIOS NO NORTE
DO TOCANTINS**

Araguatins

2026

Rosiel Moura Barbosa

Samara de Sousa Rodrigues

**USO DA ENERGIA SOLAR NO MEIO RURAL: ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS
ECONÔMICOS PARA OS PRODUTORES AGROPECUÁRIOS NO NORTE
DO TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Superior de Bacharelado em Engenharia
Agrônômica da Unidade Campus
Araguatins, do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr: Thiago Loiola.

Araguatins

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

B238u Barbosa, Rosiel Moura
 Uso da energia solar no meio rural: análise dos benefícios
 econômicos para os produtores agropecuários no norte do Tocantins /
 Rosiel Moura Barbosa, Samara de Sousa Rodrigues. – Araguatins, TO,
 2026.
 25 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - IFTO, Araguatins, TO, 2026.

Orientador: Dr. Thiago de Loiola Araújo e Silva.

1. Energia solar rural. 2. Economia no meio rural. 3. Placa. I.
Rodrigues, Samara de Sousa. II. Araújo e Silva, Thiago de Loiola. III.
Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins
Campus Araguatins
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: USO DA ENERGIA SOLAR NO MEIO RURAL: ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS PARA OS PRODUTORES AGROPECUÁRIOS NO NORTE DO TOCANTINS

AUTOR (A): Rosiel Moura Barbosa e Samara de Sousa Rodrigues
ORIENTADOR (A): Dr. Thiago de Loiola Araújo e Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma.

Aprovado em 12 de agosto de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Thiago de Loiola Araujo e Silva, Servidor**, em 12/08/2026, às 11:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberta de Freitas Souza Lobo, Servidora**, em 12/08/2026, às 11:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Samuel de Deus da Silva, Servidor**, em 12/08/2026, às 11:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ifto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3280443** e o código CRC **DF67E126**

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça.”

Bíblia Sagrada - Isaías 41:10

“E são tantas marcas, que já fazem parte, do que eu sou agora, mas ainda sei me virar.”

Os paralamas do sucesso

RESUMO

O uso da energia solar no meio rural tem se mostrado uma alternativa sustentável e economicamente viável para os produtores agropecuários. Este trabalho tem como objetivo analisar os benefícios econômicos das fazendas que já possuem energia solar no Norte do Tocantins, demonstrando sua influência na redução dos custos operacionais e no aumento da rentabilidade das propriedades rurais, levando em consideração os levantamentos de dados das contas de energia antes e depois da instalação do sistema de placas solares.

Além disso, são abordados os impactos ambientais positivos e a contribuição da energia renovável para a sustentabilidade do setor agropecuário. Além dos benefícios financeiros diretos, como a redução das despesas com energia elétrica, o estudo também aborda aspectos ambientais e sociais da adoção da energia solar, como a diminuição da dependência de fontes fósseis, a redução das emissões de carbono e a maior autonomia energética das propriedades rurais.

Espera-se que os resultados indiquem que a energia solar representa uma alternativa estratégica para os produtores do Norte do Tocantins, aumentando a lucratividade, garantindo maior estabilidade financeira e contribuindo para a sustentabilidade do setor agropecuário na região.

Palavras-chave: Energia Solar Rural. Economia no meio Rural. Placa

ABSTRACT

The use of solar energy in rural areas has proven to be a sustainable and economically viable alternative for agricultural producers. This study aims to analyze the economic benefits of farms that have already adopted solar energy systems in the northern region of Tocantins, Brazil, demonstrating their influence on reducing operational costs and increasing the profitability of rural properties. The analysis is based on data collected from electricity bills before and after the installation of photovoltaic systems. In addition, the study addresses the positive environmental impacts and the contribution of renewable energy to the sustainability of the agricultural sector. Beyond the direct financial benefits, such as reduced electricity expenses, the research also examines environmental and social aspects of solar energy adoption, including decreased dependence on fossil fuel sources, reduced carbon emissions, and greater energy autonomy for rural properties.

The expected results indicate that solar energy represents a strategic alternative for producers in northern Tocantins, increasing profitability, ensuring greater financial stability, and contributing to the sustainability of the agricultural sector in the region.

Keywords: rural solar energy. rural economy. photovoltaic system. sustainability. profitability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Origem da energia solar.....	11
2.2 Tipos de sistemas de energia solar.....	12
2.3 Impactos ambientais a partir da geração de energia elétrica por hidrelétrica.....	13
2.4 Energia Solar no Brasil e a Regulamentação do Sistema On-Grid.....	14
2.5 Disponibilidade de energia Rural no Tocantins.....	15
2.6 Principais equipamentos elétricos rurais	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
5 CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS.....	24

1 INTRODUÇÃO

O setor agropecuário brasileiro desempenha um papel essencial no desenvolvimento econômico e social do país, representando uma das principais bases de sustentação da economia nacional. Além de ser responsável por grande parte das exportações e pela geração de empregos, a agropecuária tem se mostrado cada vez mais dependente de tecnologias que promovam eficiência produtiva, redução de custos e sustentabilidade ambiental (IBGE, 2018). Nesse cenário, o uso racional e sustentável da energia elétrica é um dos desafios mais relevantes enfrentados pelos produtores rurais.

A energia elétrica é fundamental para o funcionamento das atividades agropecuárias, sendo utilizada em sistemas de irrigação, bombeamento de água, refrigeração, iluminação, ordenha mecânica e automação de equipamentos. Contudo, o custo elevado da energia e as constantes variações tarifárias impactam diretamente na rentabilidade da produção rural, especialmente em propriedades de pequeno e médio porte. Diante disso, cresce a necessidade de buscar alternativas energéticas mais acessíveis e sustentáveis.

Entre as fontes renováveis disponíveis, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma das opções mais promissoras para o meio rural. O Brasil possui uma das maiores incidências de radiação solar do planeta, o que torna o aproveitamento dessa fonte de energia extremamente viável. A região Norte do país, em especial o estado do Tocantins, apresenta um elevado potencial para a geração de energia solar, devido à sua localização geográfica e à alta média anual de insolação. (SILVA; COELHO; JESUS, 2023). Esses fatores favorecem a implantação de sistemas fotovoltaicos como solução energética para propriedades agropecuárias.

No meio rural, a energia solar pode ser utilizada em diversas aplicações: irrigação de lavouras, dessedentação animal, climatização de ambientes, eletrificação de cercas, iluminação de residências e galpões, entre outros. Além da versatilidade, essa tecnologia proporciona autonomia energética, redução dos custos de produção e baixo impacto ambiental, tornando-se uma alternativa eficiente e sustentável para o desenvolvimento do agronegócio regional. (BRASIL, 2022; ANEEL, 2024)

Apesar das inúmeras vantagens, ainda há certa resistência quanto à adoção da energia solar no campo, seja por falta de informação, seja pelo custo inicial de investimento. Nesse contexto, estudos que avaliem os benefícios econômicos da

energia solar tornam-se fundamentais para demonstrar a viabilidade dessa tecnologia e incentivar sua expansão no meio rural.

O Brasil, com sua elevada taxa de irradiação solar, apresenta condições ideais para a disseminação dessa tecnologia (PEREIRA et al., 2017). Contudo, a decisão de investimento por parte do produtor rural depende de uma análise clara e quantificável do retorno financeiro. Estudos abrangentes sobre o tema nem sempre refletem a realidade microeconômica e climática de regiões específicas. Diante disso, o presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) concentra-se na região do Norte do Tocantins, uma área de fronteira agrícola com alta demanda energética e forte incidência solar.

A escolha deste tema se justifica pela relevância econômica e ambiental da energia solar como alternativa sustentável para o setor agropecuário. A adoção de fontes renováveis de energia contribui diretamente para a redução de custos operacionais, o aumento da competitividade e a diminuição dos impactos ambientais da produção rural (EPE, 2024). Além disso, no Norte do Tocantins, onde predominam propriedades familiares e atividades agropecuárias de pequeno e médio porte, o uso da energia solar pode representar uma importante ferramenta de desenvolvimento local e de fortalecimento da agricultura sustentável.

Do ponto de vista econômico, a análise dos benefícios da energia solar permite identificar o retorno sobre o investimento (payback), a redução dos gastos com eletricidade e o impacto positivo na renda dos produtores. Já sob a ótica ambiental, essa tecnologia favorece a redução das emissões de gases de efeito estufa e a conservação dos recursos naturais (EPE, 2024).

O presente estudo está organizado em quatro capítulos principais: O Referencial Teórico (que aborda os conceitos de energia solar, sistemas agropecuários e análise de viabilidade econômica); a Metodologia (detalhando o *design* da pesquisa e as ferramentas de coleta e análise de dados); a Apresentação e Discussão dos Resultados (com a análise dos dados coletados em campo); e, por fim, as Conclusões.

- Objetivo Geral: Analisar a viabilidade econômica do uso da energia solar fotovoltaica, quantificando seus benefícios financeiros para os produtores agropecuários na região do Norte do Tocantins.
- Objetivos Específicos:
 - Levantar o potencial solar e as condições climáticas favoráveis à geração de energia fotovoltaica no Norte do Tocantins;

- Identificar o perfil dos produtores agropecuários da região e o nível de adoção da energia solar em suas propriedades;
- Estimar os custos de implantação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos utilizados no meio rural;
- Calcular o tempo médio de retorno do investimento (*payback*) para diferentes perfis de produtores;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem da energia solar

A energia solar tem sua origem na radiação emitida pelo Sol, uma fonte inesgotável de energia que tem sido utilizada pelo ser humano desde os primórdios da civilização. Os primeiros registros históricos do uso da energia solar datam da Antiguidade, quando civilizações como os egípcios e os gregos empregavam espelhos e superfícies reflexivas para concentrar a luz solar e acender fogueiras ou aquecer ambientes (Boyle, 2012). Compreender a origem da energia solar e sua evolução ao longo do tempo é essencial para reconhecer seu potencial como uma alternativa energética sustentável e economicamente viável.

O estudo científico sobre a conversão da luz solar em eletricidade começou no século XIX, com a descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839 (Perlin, 2013). Esse efeito, que descreve a geração de corrente elétrica em materiais semicondutores expostos à luz, tornou-se a base para o desenvolvimento das células solares modernas. No entanto, foi apenas no século XX, com o avanço da tecnologia dos semicondutores e o desenvolvimento do silício como material essencial para a fabricação de células fotovoltaicas, que a energia solar começou a ser explorada em larga escala (Green, 2019).

Com o passar dos anos, a energia solar tornou-se uma alternativa viável para a produção de eletricidade, especialmente após a crise do petróleo na década de 1970, quando muitos países passaram a investir em fontes renováveis para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis (Goswami et al., 2015). Desde então, avanços na eficiência das células fotovoltaicas e a redução dos custos de produção têm impulsionado a popularização da energia solar em diversas partes do mundo. Atualmente, essa tecnologia é amplamente utilizada tanto para geração distribuída,

em residências e indústrias, quanto para grandes usinas solares que abastecem redes elétricas inteiras.

A crescente adoção da energia solar reflete sua importância como uma alternativa limpa e renovável para suprir a demanda energética global. Além de ser uma solução sustentável, a energia solar contribui significativamente para a redução da emissão de gases de efeito estufa e para a diversificação da matriz energética mundial (Jacobson, 2020). Dessa forma, compreender a origem e a evolução dessa tecnologia permite reconhecer seu papel fundamental no futuro da produção de energia e na mitigação dos impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis.

2.2 Tipos de sistemas de energia solar

Os sistemas de energia solar podem ser classificados em três principais tipos: On-Grid, Off-Grid e Híbrido, cada um com características e aplicações específicas. O sistema On-Grid é conectado à rede elétrica pública e funciona de forma integrada com a concessionária de energia. Nesse modelo, o excedente de eletricidade gerado pelos painéis solares pode ser injetado na rede, gerando créditos energéticos que podem ser utilizados posteriormente (Kalogirou, 2014). Essa configuração é amplamente adotada em áreas urbanas e industriais devido ao seu baixo custo de instalação e à eliminação da necessidade de baterias para armazenamento de energia (Chow, 2010).

Já o sistema Off-Grid opera de maneira independente da rede elétrica, sendo utilizado principalmente em regiões isoladas onde o acesso à eletricidade convencional é limitado ou inexistente. Esse sistema requer o uso de baterias para armazenar a energia gerada durante o dia, garantindo o fornecimento durante a noite ou em períodos de baixa incidência solar (Luque & Hegedus, 2011). Embora apresente um custo inicial mais elevado devido ao investimento em baterias, o Off-Grid possibilita autonomia energética e é uma solução eficaz para comunidades rurais, propriedades agrícolas e locais remotos (Zhou et al., 2013).

O sistema Híbrido, por sua vez, combina características dos sistemas On-Grid e Off-Grid, permitindo tanto o armazenamento da energia em baterias quanto a conexão à rede elétrica. Esse modelo oferece maior flexibilidade e segurança energética, pois permite o uso da eletricidade armazenada em períodos de falha da rede, ao mesmo tempo em que possibilita o aproveitamento dos créditos energéticos

(Kumar et al., 2017). Dessa forma, o sistema híbrido é uma alternativa viável para consumidores que desejam garantir um fornecimento contínuo de energia, reduzindo a dependência da rede elétrica e otimizando o uso da eletricidade solar.

2.3 Impactos ambientais a partir da geração de energia elétrica por hidrelétrica

A geração de energia elétrica por meio de usinas hidrelétricas desempenha papel fundamental na matriz energética brasileira, sendo considerada uma fonte renovável de energia. Entretanto, apesar das vantagens relacionadas à baixa emissão de poluentes durante sua operação, a implantação e o funcionamento desses empreendimentos podem provocar impactos ambientais significativos (ANEEL, 2008).

Um dos principais impactos associados às hidrelétricas é o alagamento de extensas áreas para a formação dos reservatórios. Esse processo pode ocasionar a supressão da vegetação nativa, a perda de habitats naturais e alterações na biodiversidade local. Além disso, a inundação de áreas habitadas frequentemente resulta no deslocamento de populações ribeirinhas, comunidades rurais e povos indígenas, gerando consequências sociais e econômicas relevantes (IBAMA, 2019).

Outro impacto importante refere-se às alterações no regime hidrológico dos rios. A construção de barragens modifica o fluxo natural da água, afetando os ecossistemas aquáticos e prejudicando espécies de peixes que dependem da migração para reprodução e alimentação. Também podem ocorrer mudanças na qualidade da água, incluindo alterações na temperatura, oxigenação e transporte de sedimentos (ANEEL, 2008).

Além disso, a decomposição da matéria orgânica submersa nos reservatórios pode resultar na emissão de gases de efeito estufa, especialmente o metano (CH_4), contribuindo para o aquecimento global. Embora as emissões sejam inferiores às provenientes da queima de combustíveis fósseis, estudos demonstram que elas devem ser consideradas na avaliação dos impactos ambientais dos empreendimentos hidrelétricos (FEARNSIDE, 2004).

Diante desses aspectos, torna-se importante buscar alternativas energéticas complementares que reduzam a pressão sobre os recursos naturais. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica destaca-se como uma opção sustentável, uma vez que apresenta menor interferência direta nos ecossistemas e contribui para a diversificação da matriz energética nacional (EPE, 2025).

2.4 Energia Solar no Brasil e a Regulamentação do Sistema On-Grid

O Brasil possui um dos maiores potenciais de geração de energia solar do mundo, devido à sua localização geográfica e altos índices de radiação solar ao longo do ano. Nos últimos anos, a energia solar tem ganhado destaque como uma alternativa sustentável e economicamente viável para diversificar a matriz energética do país, reduzindo a dependência de fontes fósseis e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais (EPE, 2022). A tecnologia fotovoltaica tem se expandido rapidamente, impulsionada por avanços tecnológicos, incentivos governamentais e pela crescente demanda por fontes renováveis de energia (ANEEL, 2021).

Um dos principais marcos para o desenvolvimento da energia solar no Brasil foi a criação da Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu as regras para a geração distribuída e possibilitou a conexão dos sistemas On-Grid à rede elétrica (ANEEL, 2012). Essa regulamentação permitiu que consumidores instalassem painéis solares e injetassem o excedente de energia na rede pública, recebendo créditos energéticos para serem utilizados em períodos de baixa geração. Essa medida incentivou a adesão à energia solar, tornando-a mais acessível para residências, comércios e indústrias (Barbosa et al., 2020).

A evolução do marco regulatório levou à criação da Lei nº 14.300/2022, conhecida como o Marco Legal da Geração Distribuída, que trouxe mais segurança jurídica para os consumidores que adotam sistemas fotovoltaicos conectados à rede (Brasil, 2022). A lei estabelece um modelo de compensação de energia mais detalhado e prevê uma transição para a cobrança gradual do uso da infraestrutura da rede elétrica, garantindo a viabilidade econômica dos projetos solares (Moura et al., 2022). Com essa regulamentação, o Brasil continua a fomentar o crescimento do setor fotovoltaico, alinhando-se às tendências globais de transição energética e descarbonização.

Atualmente, a energia solar representa uma das principais fontes renováveis em expansão no Brasil, sendo responsável por uma parcela crescente da matriz energética nacional. Além de reduzir os custos com eletricidade para consumidores, a energia solar também promove benefícios ambientais e sociais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a criação de empregos no setor de energias renováveis (EPE, 2023). Com um arcabouço regulatório cada vez mais sólido e

investimentos contínuos, a tendência é que a energia solar se torne ainda mais relevante na busca por um sistema energético sustentável e acessível para todos.

2.5 Disponibilidade de energia Rural no Tocantins

A disponibilidade por energia elétrica no meio rural do Tocantins tem apresentado crescimento significativo nos últimos anos, impulsionada pela expansão das atividades agropecuárias e pela necessidade de modernização das práticas agrícolas. O acesso à eletricidade é essencial para o desenvolvimento econômico e social dessas regiões, permitindo a utilização de tecnologias que aumentam a produtividade e melhoram a qualidade de vida das comunidades rurais. Entretanto, a dispersão geográfica e as longas distâncias entre as propriedades representam desafios para a universalização do serviço. Atualmente, cerca de 20% dos clientes de energia no estado estão na zona rural, embora essa área corresponda a 89% da rede de energia instalada (CONEXÃO TOCANTINS, 2019).

Para enfrentar esses desafios, programas como o "Luz para Todos" têm sido implementados com o objetivo de levar energia elétrica às áreas rurais do Tocantins. Em parceria com o Governo Federal, o governo estadual assinou acordos de cooperação para ampliar a rede elétrica e atender às comunidades ainda não contempladas. Essas ações buscam promover o desenvolvimento econômico, a inclusão social e a melhoria das condições de vida das populações rurais, contribuindo para a redução das desigualdades regionais (AGÊNCIA TOCANTINS, 2021).

Além das iniciativas de expansão da rede elétrica, a Energisa Tocantins tem incentivado a prática da autoleitura entre os moradores da zona rural, visando garantir um faturamento preciso e evitar cobranças indevidas. Essa medida permite que os próprios consumidores realizem a leitura de seus medidores e informem os dados à concessionária, facilitando o monitoramento do consumo e promovendo o uso consciente da energia. Atualmente, mais de 115.978 residências rurais no estado já adotaram essa prática, demonstrando o compromisso das comunidades com a eficiência energética e a sustentabilidade (TOCANTINS RURAL, 2023).

2.6 Principais equipamentos elétricos rurais

Sistema de Irrigação: Nas propriedades rurais o sistema de irrigação é um dos vilões no consumo de energia. A demanda energética varia de acordo o sistema que é usado na propriedade (aspersores, gotejamento, pivô central), a bomba de irrigação,

que retira a água dos reservatórios ou fontes e a distribui para as culturas, pode demandar grande quantidade de energia elétrica, tendo a sua maior demanda de energia no período de seca. Em muitas propriedades, a irrigação pode representar até 50% ou mais do consumo total de energia da propriedade (CNA, 2021).

Sistema de Ordenha Mecânica: Equipamentos utilizados na ordenha, como as bombas e sistemas de resfriamento do leite, consomem considerável quantidade de energia elétrica. O processo de ordenha mecânica é essencial para aumentar a produtividade das propriedades leiteiras, mas seu consumo de energia é alto para garantir sua qualidade.

Motores e Equipamentos agrícolas: Além dos sistemas de irrigação e ordenha, a propriedade rural também depende de outros motores elétricos para atividades agrícolas gerais. Isso inclui tratores, moendas de ração, trituradores e outros equipamentos utilizados no manejo de pastagem e preparação de alimentos para o gado. Esses equipamentos consomem energia para o funcionamento das operações diárias da fazenda, afetando o consumo geral de eletricidade (ABEEólica, 2020).

Resfriadores de Leite: Após a ordenha, o leite precisa ser armazenado e resfriado rapidamente para evitar a proliferação de bactérias e garantir sua qualidade. O resfriador de leite, que é essencial em qualquer produção leiteira, utiliza uma quantidade significativa de energia elétrica. Em fazendas com grande volume de produção, o resfriador pode ser responsável por uma parte considerável do consumo energético diário.

A eficiência no uso desses equipamentos pode resultar em uma redução significativa no custo da energia, o que é importante para a sustentabilidade financeira da propriedade. Por isso, muitas fazendas têm adotado tecnologias mais eficientes, como o uso de energia solar, para reduzir o impacto do consumo de energia elétrica no orçamento da propriedade (Embrapa, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso de natureza quantitativa e descritiva, realizado com dez produtores rurais localizados na região norte do estado do Tocantins, todos atendidos por sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.

Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos por meio das faturas de energia elétrica de cada consumidor e dos relatórios de geração disponíveis nos aplicativos de monitoramento dos inversores fotovoltaicos instalados nas propriedades. A partir

dessas informações foram levantados os valores de geração anual de energia elétrica (kWh/ano), consumo energético, investimento realizado na instalação do sistema fotovoltaico e a economia anual proporcionada pela compensação de energia.

Para estimar a economia anual, foi considerada a tarifa média de energia elétrica vigente de R\$ 1,28 por kWh, multiplicando-se a energia efetivamente gerada pelo respectivo valor da tarifa. Em seguida, foi calculado o tempo de retorno do investimento (payback), obtido pela relação entre o investimento inicial e a economia anual gerada pelo sistema, sendo o resultado apresentado em meses e em anos.

Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas e apresentados em tabelas contendo as variáveis: geração anual de energia (kWh/ano), investimento (R\$), economia anual (R\$), payback em meses e payback em anos. Posteriormente, realizou-se uma análise comparativa entre os produtores rurais, permitindo avaliar a viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos instalados em cada propriedade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quadro 01 - Produtor 1 - Cliente 01 e Cliente 02

Cliente 01

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	47,00	1.410,00
Fevereiro	43,85	1.315,50
Março	48,00	1.440,00
Abril	47,50	1.425,00
Maio	49,50	1.485,00
Junho	54,50	1.635,00
Julho	52,00	1.560,00
Agosto	59,00	1.770,00
Setembro	55,15	1.654,50
Outubro	52,00	1.560,00
Novembro	45,00	1.350,00
Dezembro	46,50	1.395,00
GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA		18.000,00
MÉDIA DA GERAÇÃO MENSAL		1.500,00

FONTE: imagem do autor.

Cliente 02

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	25,07	752,00
Fevereiro	23,39	701,60
Março	25,60	768,00
Abril	25,33	760,00
Maio	26,40	792,00
Junho	29,07	872,00
Julho	27,73	832,00
Agosto	31,47	944,00
Setembro	29,41	882,40
Outubro	27,73	832,00
Novembro	24,00	720,00
Dezembro	24,80	744,00
GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA		9.600,00
MÉDIA DA GERAÇÃO MENSAL		800,00

FONTE: imagem do autor.

O sistema fotovoltaico do Produtor 1 apresentou uma geração anual de 18.000 kWh, com média mensal de 1.500 kWh. Observa-se que a produção variou ao longo do ano em função das condições climáticas, especialmente da incidência de radiação solar.

Os meses de junho (1.635 kWh), agosto (1.770 kWh) e setembro (1.654,5 kWh) registraram as maiores gerações, coincidindo com o período de estiagem no norte do Tocantins, quando há menor cobertura de nuvens e maior disponibilidade de radiação solar.

Já os menores valores ocorreram em fevereiro (1.315,5 kWh), novembro (1.350 kWh) e dezembro (1.395 kWh), meses influenciados pelo período chuvoso, que reduz a eficiência do sistema devido à menor incidência de luz solar.

De maneira geral, o sistema apresentou um desempenho estável durante todo o ano, mantendo uma produção suficiente para atender ao consumo da propriedade e proporcionar significativa economia na fatura de energia elétrica.

O sistema fotovoltaico do Produtor 2 apresentou uma geração anual de 9.600 kWh, com média mensal de 800 kWh.

Assim como observado no Produtor 1, a produção variou conforme as condições climáticas da região. Os maiores índices de geração ocorreram em agosto (944 kWh), setembro (882,4 kWh) e junho (872 kWh), período caracterizado por elevada incidência de radiação solar.

As menores produções foram registradas em fevereiro (701,6 kWh), novembro (720 kWh) e dezembro (744 kWh), refletindo a influência das chuvas e da maior nebulosidade sobre o desempenho dos módulos fotovoltaicos.

Mesmo apresentando capacidade instalada inferior à do Produtor 1, o sistema demonstrou bom desempenho operacional durante todo o período analisado, mantendo geração consistente e contribuindo para a redução dos custos com energia elétrica da propriedade rural.

Quadro 02 - cliente 03 e cliente 04

Cliente 03

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	18,80	564,00
Fevereiro	17,54	526,20
Março	19,20	576,00
Abril	19,00	570,00
Maio	19,80	594,00
Junho	21,80	654,00
Julho	20,80	624,00
Agosto	23,60	708,00
Setembro	22,06	661,80
Outubro	20,80	624,00
Novembro	18,00	540,00
Dezembro	18,60	558,00
GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA		7.200,00
MÉDIA DA GERAÇÃO MENSAL		600,00

FONTE: imagem do autor.

Cliente 04

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	54,83	1.645,00
Fevereiro	51,16	1.534,75
Março	56,00	1.680,00
Abril	55,42	1.662,50
Maio	57,75	1.732,50
Junho	63,58	1.907,50
Julho	60,67	1.820,00
Agosto	68,83	2.065,00
Setembro	64,34	1.930,25
Outubro	60,67	1.820,00
Novembro	52,50	1.575,00
Dezembro	54,25	1.627,50
GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA		21.000,00
MÉDIA DA GERAÇÃO MENSAL		1.750,00

FONTE: imagem do autor.

O cliente apresentou uma geração anual de 7.200 kWh, com média mensal de 600 kWh. A maior produção ocorreu em agosto (708 kWh), enquanto a menor foi registrada em fevereiro (526,2 kWh). A variação da geração acompanhou as condições climáticas da região, com maior desempenho durante o período seco e redução nos meses chuvosos.

O cliente obteve uma geração anual de 21.000 kWh, com média mensal de 1.750 kWh, sendo o sistema de maior produção entre os clientes analisados. O pico de geração ocorreu em agosto (2.065 kWh) e a menor produção em fevereiro (1.534,75 kWh). Os resultados demonstram excelente desempenho do sistema fotovoltaico durante todo o ano.

Quadro 03 - cliente 05 e cliente 06

Cliente 05

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	30,55	916,50
Fevereiro	28,50	855,08
Março	31,20	936,00
Abril	30,88	926,25
Maio	32,18	965,25
Junho	35,43	1.062,75
Julho	33,80	1.014,00
Agosto	38,35	1.150,50
Setembro	35,85	1.075,43
Outubro	33,80	1.014,00
Novembro	29,25	877,50
Dezembro	30,23	906,75
GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA		11.700,00
MÉDIA DA GERAÇÃO MENSAL		975,00

FONTE: imagem do autor.

Cliente 06

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	15,67	470,00
Fevereiro	14,62	438,50
Março	16,00	480,00
Abril	15,83	475,00
Maio	16,50	495,00
Junho	18,17	545,00
Julho	17,33	520,00
Agosto	19,67	590,00
Setembro	18,38	551,50
Outubro	17,33	520,00
Novembro	15,00	450,00
Dezembro	15,50	465,00
GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA		6.000,00
MÉDIA DA GERAÇÃO MENSAL		500,00

FONTE: imagem do autor.

O cliente apresentou uma geração anual de 11.700 kWh, com média mensal de 975 kWh. A maior geração foi registrada em agosto (1.150,5 kWh) e a menor em fevereiro (855,08 kWh). A produção manteve-se estável durante o ano, com aumento no período de maior incidência solar.

O Cliente 06 registrou uma geração anual de 6.000 kWh, com média mensal de 500 kWh. A maior produção ocorreu em agosto (590 kWh) e a menor em fevereiro (438,5 kWh). Apesar de possuir menor capacidade de geração em relação aos demais clientes, o sistema apresentou desempenho satisfatório e comportamento semelhante aos demais sistemas analisados, sendo influenciado pelas condições climáticas da região.

Quadro 04 - cliente 7 e cliente 08

Cliente 7

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	78,33	2.350,00
Fevereiro	73,08	2.192,50
Março	80,00	2.400,00
Abril	79,17	2.375,00
Maio	82,50	2.475,00
Junho	90,83	2.725,00
Julho	86,67	2.600,00
Agosto	98,33	2.950,00
Setembro	91,92	2.757,50
Outubro	86,67	2.600,00
Novembro	75,00	2.250,00
Dezembro	77,50	2.325,00
GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA		30.000,00
MÉDIA DA GERAÇÃO MENSAL		2.500,00

FONTE: imagem do autor.

Cliente 8

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	62,67	1.880,00
Fevereiro	58,47	1.754,00
Março	64,00	1.920,00
Abril	63,33	1.900,00
Maio	66,00	1.980,00
Junho	72,67	2.180,00
Julho	69,33	2.080,00
Agosto	78,67	2.360,00
Setembro	73,53	2.206,00
Outubro	69,33	2.080,00
Novembro	60,00	1.800,00
Dezembro	62,00	1.860,00
GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA		24.000,00
MÉDIA DA GERAÇÃO MENSAL		2.000,00

FONTE: imagem do autor.

O sistema fotovoltaico do cliente 7 apresentou uma geração anual de 30.000 kWh, com média mensal de 2.500 kWh. Observa-se que a produção variou ao longo do ano, com maior geração em agosto (2.950 kWh) e menor em fevereiro (2.192,5 kWh). Essa variação está relacionada às condições climáticas e à incidência de radiação solar em cada período. De forma geral, o sistema apresentou desempenho satisfatório, mantendo boa estabilidade na geração de energia.

O sistema fotovoltaico do cliente 8 registrou uma geração anual de 24.000 kWh, com média mensal de 2.000 kWh. A maior produção ocorreu em agosto (2.360 kWh), enquanto a menor foi observada em fevereiro (1.754 kWh). Assim como no cliente 7, as variações mensais são atribuídas às mudanças sazonais da irradiância solar. Apesar de possuir uma geração anual inferior ao cliente 7, o sistema demonstrou desempenho consistente e adequado durante todo o período analisado.

4.1 Análise financeira

A análise financeira dos sistemas fotovoltaicos instalados em produtores rurais do norte do Tocantins demonstra que o investimento em energia solar apresenta elevada viabilidade econômica. Os sistemas avaliados possuem geração anual entre 6.000 kWh e 30.000 kWh, com investimentos variando de R\$ 13.800,00 a R\$ 52.500,00.

Observa-se que a economia anual proporcionada pelos sistemas varia entre R\$ 7.439,85 e R\$ 37.199,85, sendo diretamente proporcional à capacidade de

geração de energia de cada instalação. Os sistemas de maior potência apresentaram maior economia anual, reduzindo significativamente os gastos com energia elétrica nas propriedades rurais.

Quanto ao retorno do investimento (payback), a maioria dos sistemas apresentou recuperação do capital em aproximadamente 16,94 meses (1,41 anos), enquanto alguns sistemas de menor porte registraram retorno entre 18,53 e 22,26 meses, equivalentes a 1,54 e 1,86 anos, respectivamente. Mesmo nesses casos, o tempo de retorno é considerado baixo para um investimento cuja vida útil ultrapassa 25 anos.

Dessa forma, os resultados evidenciam que a implantação de sistemas fotovoltaicos em propriedades rurais do norte do Tocantins é financeiramente vantajosa, proporcionando rápida recuperação do investimento, redução dos custos com energia elétrica e aumento da rentabilidade das atividades produtivas. A análise confirma que a energia solar representa uma alternativa eficiente e sustentável para o desenvolvimento do setor rural na região.

Quadro 05 - Payback dos consumidores em meses e anos

Cliente	Geração (kWh/ano)	Investimento (R\$)	Economia anual (R\$)	Payback (meses)	Payback (anos)
01	18.000	31.500	22.319,85	16,94	1,41
02	9.600	16.800	11.903,85	16,94	1,41
03	7.200	13.800	8.927,85	18,55	1,55
04	21.000	36.750	26.039,85	16,94	1,41
05	11.700	22.400	14.507,85	18,53	1,54
06	6.000	13.800	7.439,85	22,26	1,86
07	30.000	52.500	37.199,85	16,94	1,41
08	24.000	42.000	29.759,85	16,94	1,41

Fonte: Autor (2026)

5 CONCLUSÃO

De acordo a análise financeira pode-se observar que, a energia solar teve suma importância financeira para os produtores do norte do Tocantins. A economia anual média equivale a 71% do investimento total em apenas 1 ano, o que é muito expressivo.

A maioria dos clientes (01, 02, 04, 07, 08) tem payback médio de 1,4 anos (16,9 meses), os menores sistemas (clientes 03, 05, 06) apresentam paybacks um pouco mais longos (1,5 a 1,9 anos) devido ao custo fixo por watt ser mais alto em projetos pequenos.

Esses resultados mostram que os produtores do norte do Tocantins têm excelente potencial fotovoltaico, os geradores solares analisados estão bem dimensionados, e o retorno financeiro é bem rápido com média de 1,5 ano, após o payback, cada cliente economizará R\$ 200 a R\$ 300 mil em 25 anos, dependendo da inflação energética.

Energia solar no norte do Tocantins é um dos investimentos mais rentáveis e sustentáveis disponíveis, com *payback* curto, alta economia e retorno garantido por décadas.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Soluções energéticas no campo**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: abeeolica.org.br

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, DF: ANEEL, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Geração distribuída no Brasil: panorama e perspectivas**. Brasília, DF: ANEEL, 2021. Disponível em: aneel.gov.br

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília, DF: ANEEL, 2012. Disponível em: aneel.gov.br

AGÊNCIA TOCANTINS. **Governo do Tocantins assina acordo com o governo federal e leva energia elétrica para zona rural do estado**. Agência Tocantins, [S. l.], 2021. Disponível em: agenciatocantins.com.br

BARBOSA, L. A. et al. **Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: desafios e oportunidades**. Revista Brasileira de Energia, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 45-63, 2020.

BOYLE, G. **Renewable energy: power for a sustainable future**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Brasília, DF: Presidência da República, 2022. Disponível em: planalto.gov.br

CHOW, T. T. **A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology**. Applied Energy, [S. l.], v. 87, n. 2, p. 365-379, 2010.

CNA - CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **O impacto da irrigação no consumo de energia elétrica**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: cnabrasil.org.br

CONEXÃO TOCANTINS. **Tocantins possui 89% da rede de energia na zona rural para atender cerca de 20% dos clientes**. Conexão Tocantins, [S. l.], 2019. Disponível em: conexaoto.com.br

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias para eficiência energética no campo**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: embrapa.br

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2022**. Brasília, DF: EPE, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2025: ano-base 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Perspectivas para a energia solar no Brasil**. Brasília, DF: EPE, 2023.

FEARNSIDE, Philip M. **Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source**. Climatic Change, [S. l.], v. 66, n. 1-2, p. 1-8, 2004.

GOSWAMI, D. Y.; KREITH, F.; KREIDER, J. F. **Principles of solar engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2015.

GREEN, M. **Solar cells: operating principles, technology and system applications**. Sydney: University of New South Wales, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Licenciamento ambiental de aproveitamentos hidrelétricos**. Brasília, DF: IBAMA, 2019.

JACOBSON, M. Z. **100% clean, renewable energy and storage for everything**. Cambridge: Cambridge University Press, [s. d.].

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. [S. l.]: Academic Press, 2014.

KUMAR, A. et al. **A review of multi-criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [S. l.], v. 69, p. 596-609, 2017.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. **Handbook of photovoltaic science and engineering**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2011.

MOURA, P. R. et al. **O impacto do Marco Legal da Geração Distribuída no setor de energia solar no Brasil**. Estudos Energéticos, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 22-37, 2022.

PERLIN, J. **Let it shine: the 6,000-year story of solar energy**. Novato: New World Library, 2013.

TOCANTINS RURAL. **Mais de 115 mil clientes na zona rural podem realizar a autoleitura de energia no Tocantins**. Tocantins Rural, [S. l.], 2023. Disponível em: tocantinsrural.com.br

ZHOU, W. et al. **Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems**. Applied Energy, [S. l.], v. 87, n. 2, p. 380-389, 2013.