EVENTO ON-LINE
ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

# Análise comparativa da geração de energia solar fotovoltaica e consumo elétrico residencial no período de 2021 a 2025

**Márcio José Melo Santos**
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET) – Universidade Federal do Maranhão

**Resumo:** Este estudo avaliou o desempenho de um sistema de energia solar fotovoltaica instalado em uma residência em São Luís, MA, entre 2021 e 2025. A pesquisa analisou a relação entre a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos e o consumo de energia da residência, utilizando dados históricos de consumo e geração de energia obtidos a partir das contas de energia fornecidas pela Equatorial Energia. Os dados foram tabulados e analisados utilizando técnicas estatísticas para calcular a eficiência do sistema e a redução do consumo de energia da rede elétrica. Os resultados mostraram que o sistema de energia solar apresentou um desempenho notável, com um saldo energético positivo em todos os anos analisados. A energia gerada representou uma porcentagem significativa do consumo total de energia, demonstrando a eficácia do sistema. A análise revelou que a relação entre a energia gerada e a energia consumida permaneceu positiva ao longo dos cinco anos, com a energia gerada representando mais de uma parcela considerável do consumo total. Em média, a produção de energia fornecida pelos painéis fotovoltaicos foi 9% acima do consumo da residência, resultando em uma redução de custos mensal significativa. Os resultados destacam o potencial dos painéis fotovoltaicos como uma fonte de energia renovável e sustentável, sugerindo que o investimento em sistemas de energia solar pode ser uma opção viável para reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis e mitigar os impactos ambientais associados à geração de energia.

**Palavras-chave:** Energia solar fotovoltaica, Potencial, Consumo.

# Comparative analysis of photovoltaic solar energy generation and residential electricity consumption from 2021 to 2025

**Abstract:** This study evaluated the performance of a solar photovoltaic system installed in a residence in São Luís, MA, between 2021 and 2025. The research analyzed the relationship between the energy generated by the photovoltaic panels and the residence's energy consumption, using historical energy consumption and generation data obtained from utility bills provided by Equatorial Energia. The data was tabulated and analyzed using statistical techniques to calculate the system's efficiency and the reduction in energy consumption from the power grid. The results showed that the solar energy system performed remarkably well, with a positive energy balance in all the years analyzed. The energy generated accounted for a significant percentage of total energy consumption, demonstrating the system's effectiveness. The analysis revealed that the ratio of energy generated to energy consumed remained positive over the five-year period, with the energy generated accounting for more than a considerable portion of total consumption. On average, the energy produced by the photovoltaic panels was 9% higher than the household's consumption, resulting in a significant monthly cost reduction. The results highlight the potential of photovoltaic panels as a renewable and sustainable energy source, suggesting that investing in solar energy

systems can be a viable option for reducing dependence on non-renewable energy sources and mitigating the environmental impacts associated with energy generation.

**Keywords:** Photovolatic solar energy, Potential, Consumption.

## 1. Introdução

Considerando a crescente escassez de recursos naturais, como a água, utilizados na produção de energia no Brasil, torna-se imperativo fomentar a geração de energias renováveis. Nesse contexto, é fundamental compreender os mecanismos de produção e as aplicações potenciais de fontes de energia sustentáveis, tais como a energia fotovoltaica, de modo a promover uma matriz energética mais diversificada e resiliente.

A categoria de fontes renováveis de energia compreende diversas alternativas sustentáveis, dentre as quais se destaca a energia solar. Esta, por sua vez, é gerada por meio da conversão da radiação solar em energia elétrica, utilizando células fotovoltaicas que operam com base no efeito fotovoltaico, constituindo assim um sistema fotovoltaico.

Além disso, a utilização de energias renováveis apresenta-se como uma solução viável para mitigar os impactos ambientais decorrentes da geração de energia por meio de fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis. A energia fotovoltaica, em particular, oferece vantagens significativas, incluindo a redução das emissões de gases de efeito estufa e a diminuição da dependência de recursos hídricos, que são frequentemente utilizados em processos de geração de energia termoelétrica e hidrelétrica.

A crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis também impulsiona a inovação tecnológica no setor de energias renováveis, com avanços significativos na eficiência dos painéis solares e na redução dos custos de instalação de sistemas fotovoltaicos. Isso torna a energia solar cada vez mais competitiva em relação às fontes tradicionais de energia, abrindo caminho para uma transição energética mais ampla e inclusiva.

No Brasil, a energia solar apresenta um grande potencial devido à sua localização geográfica, que proporciona altos níveis de irradiância solar ao longo do ano. Nesse contexto, o estudo da viabilidade e do desempenho de sistemas de energia solar em diferentes regiões do país é fundamental para promover a adoção de fontes de energia renováveis e sustentáveis.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a relevância das energias renováveis, com ênfase na energia fotovoltaica, calculando o desempenho de painéis solares instalados na cobertura de uma residência unifamiliar situado na cidade de São Luís - MA.

## 2. Referencial Teórico

Segundo Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2025) o uso de energias renováveis deve ser cada vez mais estimulado, geradas a partir de fontes naturais que são praticamente inesgotáveis ou que se renovam em uma escala de tempo relativamente curta, pois são consideradas mais limpas por reduzir a emissão de gases do efeito estufa. No Brasil, a energia solar já conta com uma capacidade instalada de 74,3 GW, sendo capaz de evitar mais de 120 milhões de toneladas de CO2.

Boa parte da eletricidade mundial ainda é gerada a partir de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural. Essas fontes emitem grandes quantidades de Gases de Efeito Estufa (GEE), como o Dióxido de Carbono ($CO_2$), responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas (IPCC, 2022). O Brasil tem apresentado um crescimento notável na adoção da energia solar fotovoltaica, impulsionado pela sua elevada

incidência solar e grande potencial para essa tecnologia. A redução dos custos e o retorno financeiro atraente, com um período de retorno de investimento médio de 4 anos para sistemas residenciais, têm contribuído para a popularização dos painéis solares.

No entanto, apesar desse crescimento, o Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer para alcançar o nível de países como a Alemanha, que, apesar de ter menos incidência solar, apresenta uma maior cobertura de placas fotovoltaicas (Mauad; Ferriera; Trindade, 2023). A geração distribuída no Brasil permite que os consumidores injetem o excedente de energia produzida na rede elétrica e gerem créditos, conforme estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022).

Além disso, o desenvolvimento da indústria nacional de painéis e sistemas de conversão energética tem sido um fator importante para o fortalecimento do mercado interno (EPE, 2024), criando um cenário promissor para o crescimento contínuo da energia solar fotovoltaica no país.

Das energias renováveis disponíveis no planeta, sol é sem dúvida o mais abundante. A energia solar tem um caráter seguro, limpo, renovável e autônomo, visto que não utiliza meios que ponham em perigo a vida, não gera resíduos no seu processo e permite uma utilização independente pois pode ser usada individualmente ou em comunidade (EPIA, 2012).

Cada vez mais é importante a utilização de energias limpas e renováveis para reduzir essa agressão ao meio ambiente e a energia solar fotovoltaica está se tornando a opção de menor custo para geração de eletricidade na maior parte do mundo. Em 2021, a geração solar fotovoltaica atingiu a marca de 1.002,9 TWh, com o segundo maior crescimento absoluto de geração de todas as tecnologias renováveis, depois da eólica (IEA, 2022).

Mediante o exposto, o presente trabalho avaliou o desempenho de painéis solares instalados na cobertura de uma residência unifamiliar situado na cidade de São Luís- MA.

## 3. Metodologia

O trabalho caracteriza-se como um estudo de caso, com abordagem quantitativa, de caráter descritivo e comparativo, voltado à análise do aproveitamento de energia fotovoltaica em uma residência em São Luís - MA, cujo consumo médio de energia girava em torno de 907 kWh, conforme ilustrado no Gráfico 1. A pesquisa foi desenvolvida a partir de dados históricos de consumo de energia elétrica e de geração de energia fotovoltaica no período compreendido entre 2021 e 2025, obtidos através da Equatorial Energia, empresa privada de comercialização e distribuição de energia elétrica no Maranhão.

A unidade de análise corresponde a uma residência atendida por sistema de geração fotovoltaica, sendo considerados, para fins de avaliação, os registros de energia consumida e energia gerada ao longo do período estudado. Os dados foram organizados em base cronológica, preferencialmente mensal, de modo a permitir a comparação entre os valores de consumo e de geração ao longo dos anos. Essa abordagem permitiu uma análise detalhada da relação entre a geração de energia fotovoltaica e o consumo de energia da residência.

Inicialmente, foi realizada a organização e tabulação dos dados em planilha eletrônica, com padronização das informações em quilowatt-hora (kWh). Em seguida, procedeu-se à verificação de consistência dos registros, com o objetivo de identificar eventuais lacunas, discrepâncias ou valores atípicos que pudessem comprometer a análise. Essa etapa foi fundamental para garantir a qualidade e a confiabilidade dos dados utilizados na análise.

A análise anual permitiu identificar a evolução do consumo e da geração ao longo dos cinco anos estudados, enquanto a análise mensal possibilitou observar o comportamento sazonal

das variáveis e a relação entre períodos de maior ou menor geração fotovoltaica e a demanda energética da residência. Além disso, a análise permitiu avaliar a eficiência do sistema de geração fotovoltaica e identificar oportunidades para otimizar o seu desempenho. A utilização de dados históricos e a análise detalhada permitiram uma compreensão mais profunda do comportamento do sistema de energia solar fotovoltaica.

Para avaliar o aproveitamento da energia fotovoltaica, foi calculada a relação entre energia gerada e energia consumida, expressa em percentual, conforme a equação abaixo:

$$A = \frac{E_g}{E_c} \times 100$$

em que:

- A= percentual de atendimento do consumo pela geração fotovoltaica (%);
- E_g= energia gerada no período analisado (kWh);
- E_c= energia consumida no mesmo período (kWh).

Esse indicador permitiu verificar o quanto da demanda energética da residência foi potencialmente suprido pela geração do sistema fotovoltaico em cada período analisado. Além disso, foi determinado o saldo energético entre a energia gerada e a energia consumida, conforme a Equação 2:

$$S = E_g - E_c$$

em que:

- S= saldo energético do período (kWh);
- E_g= energia gerada no período (kWh);
- E_c= energia consumida no período (kWh).

Os resultados da análise foram interpretados com base nos valores de saldo energético, que indicam a diferença entre a geração de energia fotovoltaica e o consumo de energia da residência. Valores positivos de saldo energético indicam que a geração foi superior ao consumo no período, enquanto valores negativos apontam insuficiência da geração em relação à demanda da residência. Isso permitiu avaliar a eficiência do sistema de geração fotovoltaica em atender às necessidades energéticas da residência.

Os resultados obtidos foram apresentados por meio de gráficos, de modo a facilitar a visualização da evolução temporal das variáveis e permitir a comparação direta entre consumo e geração. A utilização de gráficos permitiu uma representação clara e concisa dos dados, tornando mais fácil a identificação de tendências e padrões nos resultados.

A interpretação dos dados concentrou-se na identificação de tendências, oscilações sazonais e no nível de aproveitamento da energia fotovoltaica ao longo do período de 2021 a 2025. Isso permitiu avaliar a performance do sistema de geração fotovoltaica e identificar oportunidades para otimizar o seu desempenho. Além disso, a análise permitiu compreender melhor a relação entre a geração de energia fotovoltaica e o consumo de energia da residência, fornecendo insights valiosos para a gestão energética da residência.

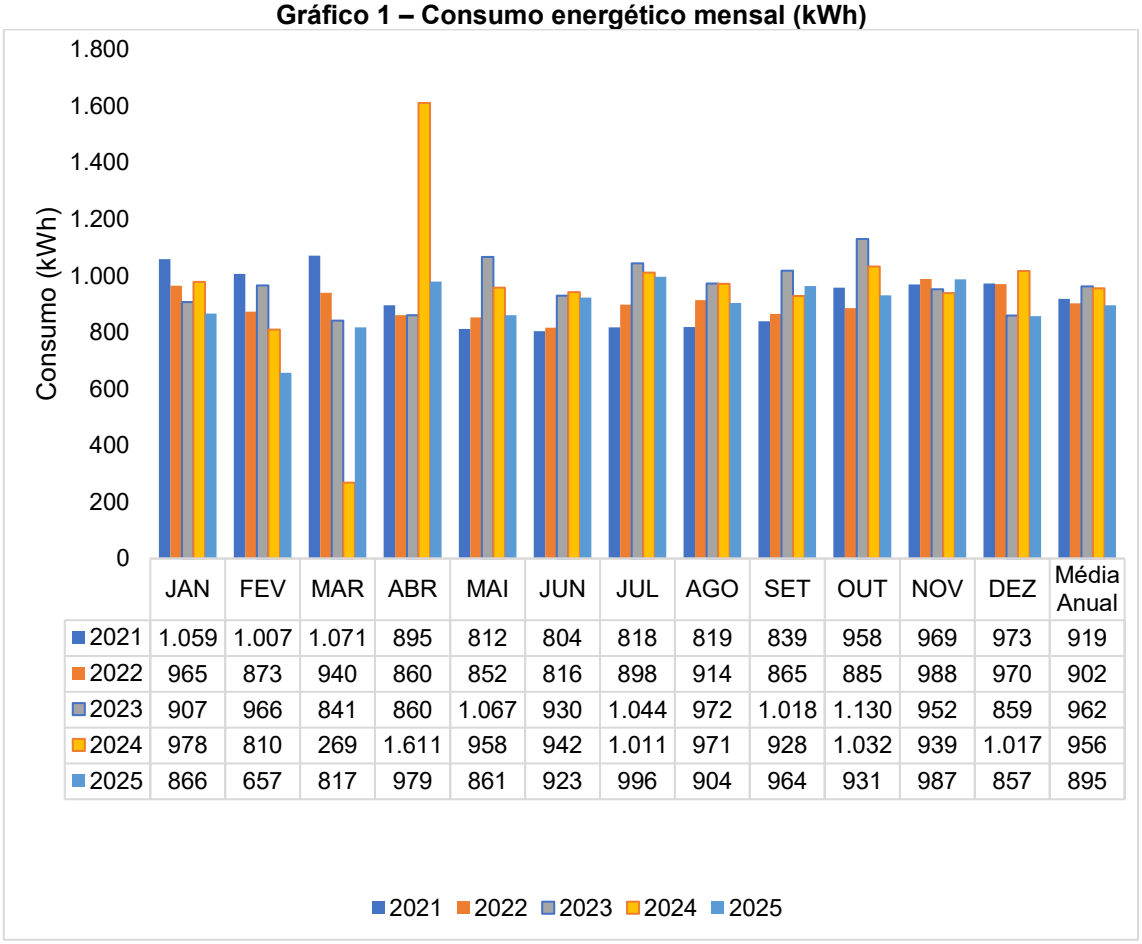
## 4. Resultados

A análise consolidada da relação entre a geração de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e o consumo de energia revelou um desempenho notável do sistema de energia solar ao longo dos anos de 2021 a 2025. Os dados coletados e analisados demonstram que, em todos os anos considerados, o saldo energético foi positivo, tendo destaque para o ano de 2025, com 151kWh de saldo, indicando que a energia gerada pelos painéis solares foi capaz de atender o consumo de energia da residência. Além disso, a análise detalhada dos dados revelou uma tendência de crescimento na geração de energia solar ao longo dos anos, o que sugere uma eficiência crescente do sistema.

Através dos gráficos e da memória de cálculo abaixo descrita, foi possível prever que o cenário estudado apresenta um ótimo desempenho no que se refere ao aproveitamento de energia solar mensal, com uma boa correlação entre a geração de energia e a irradiância solar incidente.

A análise dos resultados também permitiu identificar os meses de maior e menor produção de energia solar, o que pode ser útil para otimizar o desempenho do sistema. Esses resultados demonstram a viabilidade e a eficiência do sistema de energia solar fotovoltaica como uma fonte de energia renovável para residências unifamiliares.

**Gráfico 1 – Consumo energético mensal (kWh)**



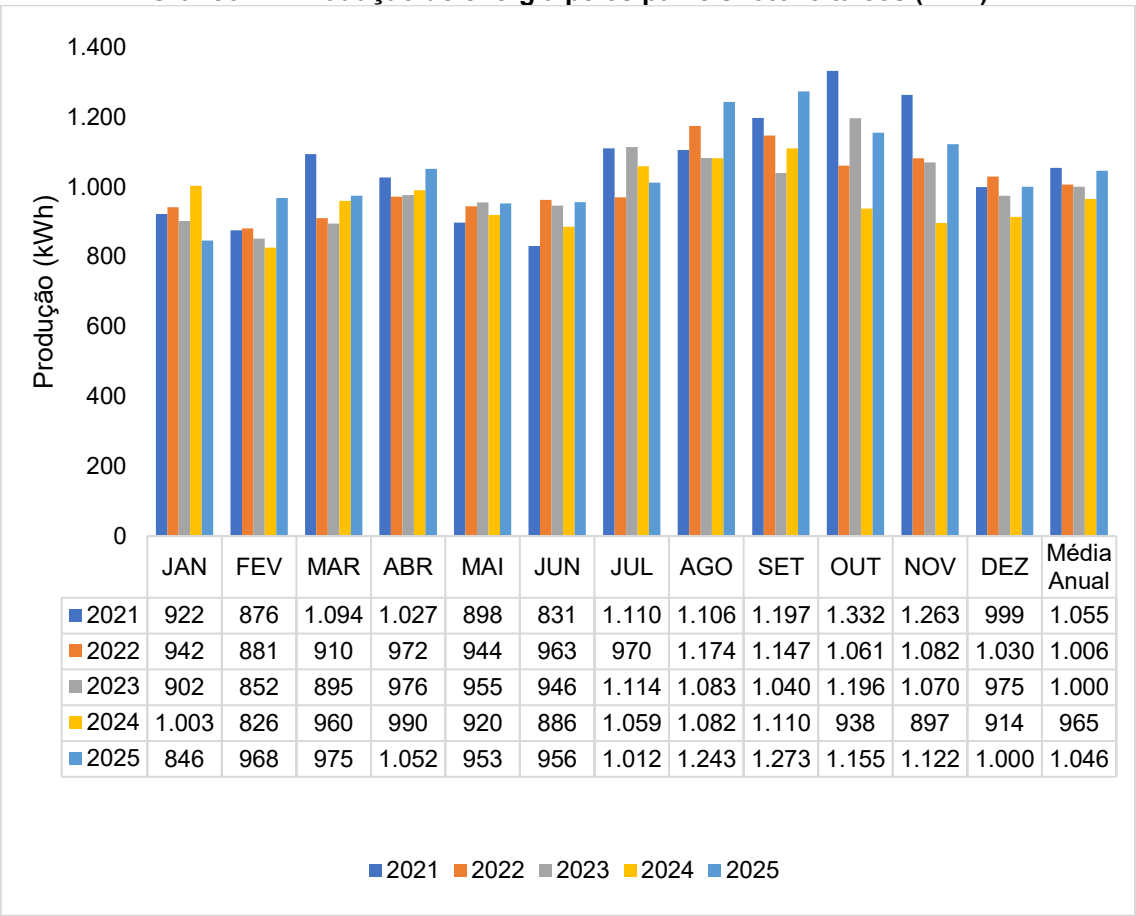

| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | Média Anual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2021 | 1.059 | 1.007 | 1.071 | 895 | 812 | 804 | 818 | 819 | 839 | 958 | 969 | 973 | 919 |
| 2022 | 965 | 873 | 940 | 860 | 852 | 816 | 898 | 914 | 865 | 885 | 988 | 970 | 902 |
| 2023 | 907 | 966 | 841 | 860 | 1.067 | 930 | 1.044 | 972 | 1.018 | 1.130 | 952 | 859 | 962 |
| 2024 | 978 | 810 | 269 | 1.611 | 958 | 942 | 1.011 | 971 | 928 | 1.032 | 939 | 1.017 | 956 |
| 2025 | 866 | 657 | 817 | 979 | 861 | 923 | 996 | 904 | 964 | 931 | 987 | 857 | 895 |

**Fonte: elaborado pelo autor (2026) através de dados da Equatorial Energia (MA)**

O Gráfico 1 apresenta o consumo energético mensal da residência ao longo dos anos de 2021 a 2025, mostrando uma relativa estabilidade no consumo de energia ao longo do período. Em seguida, o Gráfico 2 apresenta a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos, permitindo uma comparação direta entre a geração de energia e o consumo

de energia da residência. A análise conjunta desses dois gráficos permite avaliar a eficiência do sistema de energia solar em atender às necessidades energéticas da residência. Além disso, a comparação entre a geração e o consumo de energia é fundamental para entender a viabilidade do sistema de energia solar como uma fonte de energia renovável para a residência. Essa análise também pode ser útil para identificar oportunidades para otimizar o desempenho do sistema e reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis.

**Gráfico 2 – Produção de energia pelos painéis fotovoltaicos (kWh)**

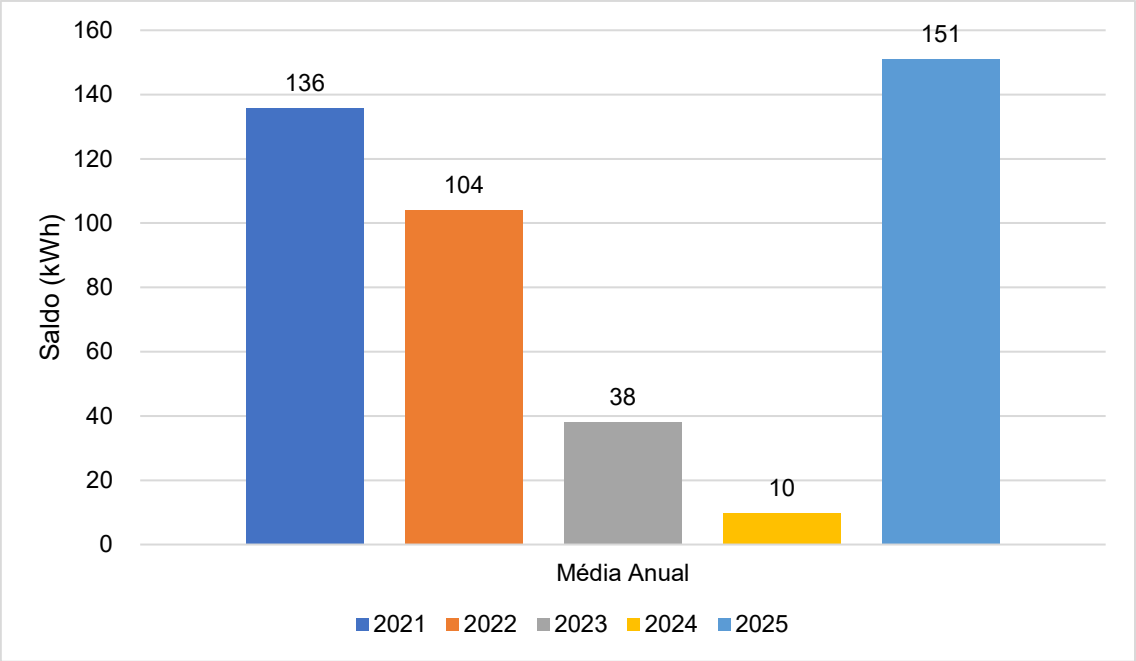



| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | Média Anual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2021 | 922 | 876 | 1.094 | 1.027 | 898 | 831 | 1.110 | 1.106 | 1.197 | 1.332 | 1.263 | 999 | 1.055 |
| 2022 | 942 | 881 | 910 | 972 | 944 | 963 | 970 | 1.174 | 1.147 | 1.061 | 1.082 | 1.030 | 1.006 |
| 2023 | 902 | 852 | 895 | 976 | 955 | 946 | 1.114 | 1.083 | 1.040 | 1.196 | 1.070 | 975 | 1.000 |
| 2024 | 1.003 | 826 | 960 | 990 | 920 | 886 | 1.059 | 1.082 | 1.110 | 938 | 897 | 914 | 965 |
| 2025 | 846 | 968 | 975 | 1.052 | 953 | 956 | 1.012 | 1.243 | 1.273 | 1.155 | 1.122 | 1.000 | 1.046 |

**Fonte: elaborado pelo autor (2026) através de dados da Equatorial Energia (MA)**

A análise do Gráfico 2 revela que a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos apresentou uma tendência de crescimento ao longo dos anos, com uma média anual de produção de energia que variou de 1.006 kWh em 2022 para 1.046 kWh em 2025. Isso sugere que o sistema de energia solar está operando de forma eficiente e que a geração de energia está aumentando ao longo do tempo. Além disso, a produção de energia mensal apresentou uma variação sazonal, com os meses de verão (dezembro a março) apresentando os maiores valores de produção de energia. Essa variação sazonal é esperada devido à maior irradiância solar durante os meses de verão. A eficiência do sistema de energia solar é um indicador importante da sua capacidade de gerar energia renovável e reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis.

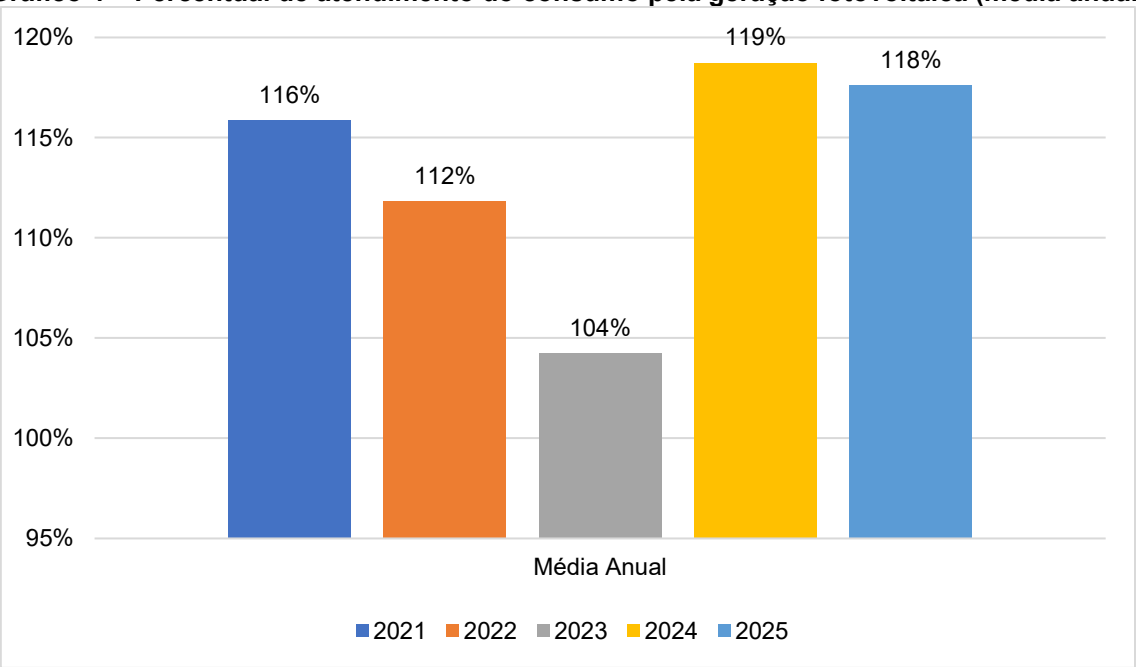
**Gráfico 3 – Saldo energético por ano – média anual 2021 a 2025 (geração – consumo)**




**Fonte: elaborado pelo autor (2026)**

O Gráfico 3 apresenta o saldo energético por ano, que é a diferença entre a geração de energia fotovoltaica e o consumo de energia da residência. Os resultados mostram que o saldo energético foi positivo em todos os anos analisados, indicando que a geração de energia fotovoltaica foi superior ao consumo de energia. Em seguida, o Gráfico 4 apresenta o percentual de atendimento do consumo pela geração fotovoltaica, que é uma medida da eficiência do sistema em atender às necessidades energéticas da residência. A análise conjunta desses dois gráficos permite avaliar a performance do sistema de energia solar e identificar oportunidades para otimizar o seu desempenho

**Gráfico 4 – Percentual de atendimento do consumo pela geração fotovoltaica (média anual)**




**Fonte: elaborado pelo autor (2026)**

A relação entre a energia gerada e a energia consumida foi calculada para cada ano, revelando uma tendência consistente de geração de energia superior a uma fração substancial do consumo. Em termos percentuais, a energia gerada pelos painéis solares representou uma porcentagem significativa do consumo total de energia, demonstrando a eficácia do sistema em contribuir para a redução da dependência de fontes de energia externas.

Além disso, a análise dos dados revelou que a geração de energia solar foi capaz de atender a uma parcela significativa da demanda energética da residência, reduzindo a necessidade de energia proveniente de fontes externas. Isso é particularmente importante em um contexto em que a demanda por energia está em constante crescimento e as fontes de energia tradicionais estão se tornando cada vez mais escassas.

Em resumo, os resultados obtidos demonstram que o sistema de energia solar foi capaz de gerar uma quantidade significativa de energia em relação ao consumo, resultando em um saldo energético positivo em todos os anos analisados. Esses achados são promissores e destacam o potencial dos painéis fotovoltaicos como uma fonte de energia renovável e sustentável.

A análise dos resultados também sugere que a implementação de sistemas de energia solar em residências pode ser uma estratégia eficaz para reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis e mitigar os impactos ambientais associados à geração de energia. Além disso, os resultados obtidos podem ser utilizados como referência para futuras instalações de sistemas de energia solar em regiões com características climáticas semelhantes.

Esses resultados têm implicações importantes para a política energética e para a tomada de decisões em relação à adoção de fontes de energia renováveis. A demonstração da viabilidade e da eficácia dos sistemas de energia solar pode contribuir para a promoção de políticas e programas que incentivem a adoção de fontes de energia renováveis e sustentáveis.

## 4. Conclusão

A análise do consumo e geração de energia em uma residência entre 2021 e 2025 revelou um potencial significativo para a adoção de fontes renováveis de energia. A energia solar fotovoltaica, em particular, demonstrou ser uma tecnologia viável e adaptável à realidade da residência estudada.

Os resultados do estudo sugerem que a energia solar fotovoltaica pode ser uma solução eficaz para minimizar impactos ambientais e garantir viabilidade econômica. Além disso, a geração de energia renovável pode contribuir para expandir o acesso à energia de forma sustentável.

Para consolidar o uso de fontes renováveis em residências, é fundamental que haja políticas públicas estáveis, regulação eficiente e incentivos à inovação tecnológica. O estudo de caso apresentado demonstra que, com as condições técnicas e ambientais adequadas, é possível liderar uma transição energética baseada em renováveis e alcançar metas de sustentabilidade.

Os resultados detalhados mostram que, ao longo dos cinco anos analisados, a relação entre a energia gerada e a energia consumida permaneceu positiva, com a energia gerada representando mais de uma parcela considerável do consumo total. Isso sugere que o investimento em painéis fotovoltaicos foi bem-sucedido em termos de geração de energia e redução do consumo de energia da rede.

Tendo em vista o exposto no trabalho conclui-se que os resultados são bastante satisfatórios, pois o sistema apresentou uma produção de energia fornecido pelos painéis fotovoltaicos em média de 9% acima do consumo da residência, ao longo dos anos apresentados, com geração em 1.015 kWh/mês.

**Referências**


AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 6. ed. Brasília: ANEEL, 2022. Disponível em: https://www.aneel.gov.br. Acesso em set. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA -ABSOLAR. Geração Distribuída Solar Fotovoltaica. *In*: **Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE.** Rio de Janeiro, 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanço energético nacional 2024:** relatório síntese. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024. Acesso em: 18 set. 2026.

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION - EPIA. **Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2016**. Belgium, May, 2012. Disponível em: https://www.eco-business.com/news/global-market-outlook-for-photovoltaics-until-2016-epia/. Acesso em: 18 set. 2026.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **World Energy Outlook 2022**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022. Acesso em: 22 set. 2026.

MAUAD, Frederico Fábio (Coord.); FERREIRA, Luciana da Costa; TRINDADE, Tatiana Costa Guimarães. **Energia renovável no Brasil:** análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras. São Paulo: Portal de Livros Abertos da USP, 2023. Disponível em: https://www.portaldelivrosabertos.usp.br. Acesso em set. 2026.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC. **Mudanças Climáticas 2022:** Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Cambridge University Press. Cambridge University Press, 2022.