UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ- REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Gabriel da Silva Arantes

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR: ANÁLISE DO USO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE ITAPETININGA.

Sorcaba/SP
2025

Gabriel da Silva Arantes

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR: ANÁLISE DO USO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE ITAPETININGA.

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Sorocaba.

Orientador: Dr.Mário Sérgio Killian.

Sorocaba/SP

2025

Gabriel da Silva Arantes

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR: ANÁLISE DA PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE ITAPETININGA.

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em:__/__/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Mário Sérgio Killian. Orientador

Universidade de Sorocaba

Prof. Me. Vitor Rogério Pires

Universidade de Sorocaba

Profa. Me. Kristiane Ramos Primo

Universidade de Sorocaba

“A Deus pela força e saúde para chegar até o aqui, a minha família pelo apoio e a todos aqueles que de maneira indireta me proporcionaram chegar neste dia”.

RESUMO

O presente trabalho teve como propósito analisar os efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos. O estudo abordou o conceito de mudanças climáticas e seus impactos no setor energético, com ênfase na geração solar. Como aplicação prática, utilizou-se uma escola municipal localizada no município de Itapetininga-SP como estudo de caso. Foram obtidas, junto aos órgãos responsáveis, informações sobre a potência demandada da unidade, projetos arquitetônicos e a implantação da escola, com o intuito de projetar um sistema de energia fotovoltaica para a mesma. Visto que o município é denominado a terra das escolas contando com mais de 100 unidades entre escolas municipais, estaduais e colégios particulares, o propósito da presente pesquisa foi identificar os impactos na geração de energia causado pelas mudanças climáticas e a possibilidade da implantação de energia solar para a transição da matriz geradora de energia a fim das unidades se tornarem autossuficientes na sua geração de energia. Os resultados destacaram a importância de considerar os fatores climáticos no planejamento e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, especialmente em instituições públicas, uma vez que, na situação analisada, observou-se um pequeno aumento na geração de energia. Esse aumento foi atribuído à elevação da temperatura média e à sazonalidade da região estudada, o que se mostrou benéfico para a produção de energia da unidade em questão. É possível concluir que a geração de energia será impactada a longo prazo em razão das consequências das mudanças climáticas, mas multifatores podem colaborar para incertezas na quantificação dessas alterações que comprometem a acurácia na tomada de decisões para o setor energético.

Palavras-chave: mudanças climáticas; energia solar; geração fotovoltaica; escola pública; estudo de caso.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the effects of climate change on electricity generation through photovoltaic systems. It addressed the concept of climate change and its impacts on the energy sector, with an emphasis on solar power generation. As a practical application, a municipal school located in the city of Itapetininga-SP was used as a case study. Information regarding the school's energy demand, architectural plans, and site layout was obtained from the relevant authorities to design a photovoltaic energy system for the institution. Given that the municipality is known as the “land of schools,” with over 100 educational units including municipal, state, and private schools, the research sought to identify the impacts of climate change on solar energy generation and assess the feasibility of solar energy implementation as a strategy for energy matrix transition, aiming for energy self-sufficiency in these institutions. The results highlighted the importance of considering climatic factors in the planning and sizing of photovoltaic systems, especially in public institutions. In the analyzed case, a slight increase in energy generation was observed, attributed to the rise in average temperature and the region's seasonality, which proved beneficial to the unit’s energy production. It can be concluded that, in the long term, energy generation will be affected by the consequences of climate change; however, multiple factors contribute to uncertainties in quantifying these changes, thus affecting the accuracy of decision-making in the energy sector.

Keywords: climate change; solar energy; photovoltaic generation; public school; case study.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Prensa rotativa a vapor. 10
Figura 2 – Complexo industrial. 10
Figura 3 – Locomotiva a vapor. 11
Figura 4 – Usina de Marmelos. 13
Figura 5 – Dados hídricos atuais da usina. 13
Figura 6 – Histórico de medição da usina. 14
Figura 7 – Usina de Itaipu em construção. 15
Figura 8 – Usina de Itaipu. 16
Figura 9 - Expansão da matriz energética 18
Figura 10 – Diagrama fotovoltaico. 19
Figura 11 – Geração de energia elétrica por fonte no Brasil. 22
Figura 12 – Percentual das fontes de energia elétrica. 22
Figura 13 - Município de Itapetininga. 26
Figura 14 - Escola Peixoto Gomide. 27
Figura 15 - Localização da escola municipal. 27
Figura 16 - Painel solar. 29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7
2 OBJETIVOS:.....8
3 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 9
4 ENERGIA NO BRASIL.....12
4.1 primeira usina hidrelétrica do brasil 12
4.2 a maior usina hidrelétrica do mundo 15
5 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA 17
6 ENERGIA SOLAR.....19
6.1 energia solar no brasil.....20
7 MUDANÇAS CLIMÁTICAS 23
7.1 aumento global de temperatura 23
8 ESTUDO DE CASO.....25
9 ANÁLISE DE DADOS 28
10 RESULTADOS 31
11 CONCLUSÃO 32
REFERÊNCIAS 33
ANEXO A – ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DOS PAINÉIS.....35
ANEXO B – DISPOSIÇÃO DAS PLACAS PÓS ESTUDO.....36

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas nunca foram assunto tão relevante como se tornou nos dias de hoje ao redor do mundo todo. Tendo em vista os grandes avanços em tecnologias, agropecuária e industrialização as lideranças mundiais já não conseguem tratar de desenvolvimento de maneira independente sem que haja a inclusão do termo “desenvolvimento sustentável”. A modernização dos processos e técnicas de manufatura avançam desde a revolução industrial em meados do século XVIII até os dias de hoje, mas não foram idealizadas formas de atenuar os impactos ambientais no tocante a geração de energia para atender esse crescimento ou até mesmo buscar tecnologias que permitissem a exploração consciente ou até a mitigação do prejuízo causado pelo desenvolvimento. No século XIX iniciam as primeiras pesquisas relacionadas a geração de energia solar na Europa e no século posterior os Estados Unidos iniciam a produção massiva de painéis fotovoltaicos, no Brasil essa tecnologia começou a ser discutida no século XX, mas ganha força a partir da publicação de normativas que permitissem que a população pudesse gerar sua própria energia, mas é no século XXI que essa tecnologia ganha notoriedade e se expande por todo o território nacional fazendo com que se tornasse interesse governamental reduzir formalidades e tributos para a geração de energia para que pudesse haver uma discussão na transição energética Brasileira. Com a intensificação das mudanças climáticas causadas por fatores antrópicos a geração de energia solar mundial pode sofrer alterações, tendo como consequência dos fenômenos ambientais o aumento da média de temperatura, maior irradiação solar e a sazonalidade nas estações do ano, fazendo com que os dias se tornem mais longos e as estações desordenadas.

O presente trabalho teve como objetivo analisar e investigar as projeções climáticas para a radiação solar no Brasil, os impactos das mudanças climáticas na geração de energia solar em uma escola localizada na cidade de Itapetininga, no interior de São Paulo. E com isso foi possível comparar as unidades de placas necessárias para atender uma escola municipal com a potência demandada de 48,6 kW/mês com a quantidade de painéis necessários para atender essa escola nas condições de aumento de temperatura e sazonalidade do clima consequências das mudanças climáticas.

2 OBJETIVOS:

O Presente trabalho teve como objetivo observar os impactos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica e apontar possíveis soluções para unidades escolares na cidade de Itapetininga-SP, município que dispõe de mais de uma centena de colégios entre municipais, estaduais e particulares, que possui alta demanda de energia por consequência do número de unidades, e discutir possíveis soluções para uma futura mudança na matriz energética das escolas trazendo assim benefícios na redução de custos com energia e contribuindo assim com o meio ambiente. Apoiando-se nos dados de matriz e do balanço energético no Brasil em anos anteriores o trabalho espera que de maneira otimista possa apontar para uma possível solução que contribua para a tomada de decisões no que diz respeito a geração de energia e substituição da fonte de energia das unidades escolares do município para que seja possível beneficiar-se com os impactos das mudanças climáticas e seja possível discutir a redução de custos para a cidade de Itapetininga.

3 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Foi marcado por um período de transformações econômicas, industriais, sociais e tecnológicas que surgiu na Inglaterra durante o final do século XVIII e perdurou até o final do século XIX. Consistiu nas transições radicais e profundas na produção manufaturada e artesã pela energia motriz ou maquinofatura industrial que demandava a queima de carvão como energia para a alta oferta de produtos. (DIAS et al., 2019).

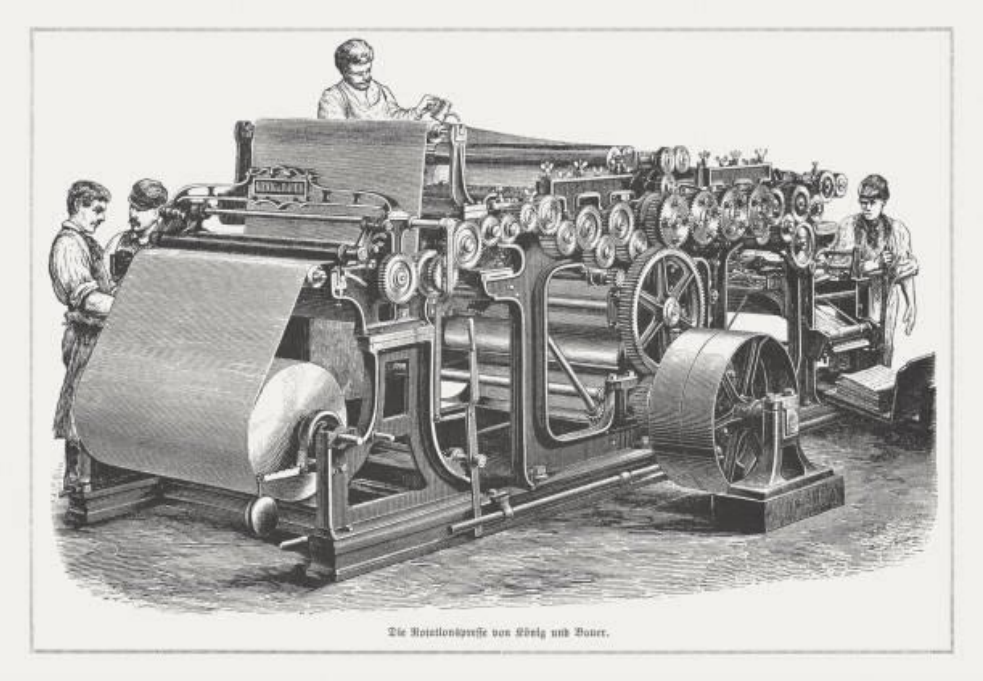
A revolução industrial foi marcada por algumas etapas, e todas elas possuem a energia como determinante para o avanço dessas mudanças. A primeira etapa tem como pivô a invenção da máquina a vapor para a produção têxtil, máquina essa que utilizava da queima de carvão para a geração de vapor e posterior transformação do mesmo em energia mecânica para a movimentação dos pistões, alavancando a indústria da época. (DIAS et al., 2019).

A segunda fase foi marcada pela construção de hidroelétricas para o abastecimento de motores elétricos então descobertos nesse período, e o uso abundante de energias advindas de petróleo para o transporte ferroviário e hidroviário das mercadorias produzidas pelos operários em toda Europa. (DIAS et al., 2019).

A terceira e quarta fase dizem respeito a criação de empresas multinacionais e a automação dos processos produtivos e a intensificação da tecnologia dos processos e o aprimoramento e consolidação da energia elétrica como principal fonte de energia nos processos industriais.

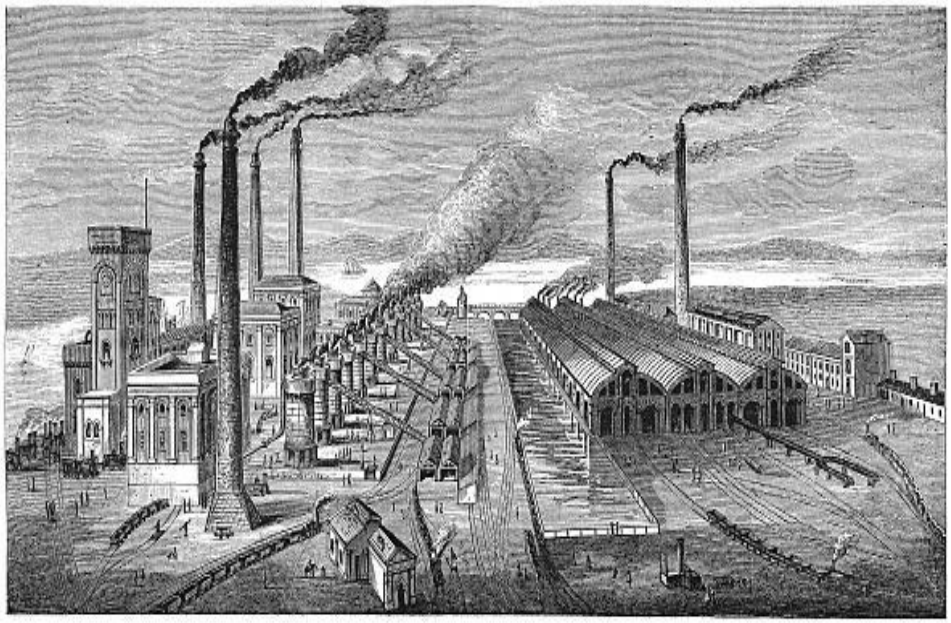
Atualmente observamos essa transição ocorrendo de maneira perene e pouco brusca comparada com a revolução industrial, com a substituição e simplificação dos meios de produção pelas altas tecnologias atuais. Os meios de transporte e de produção se tratava de máquinas movidos a queima de carvão para transformação em energia mecânica, como mostram as figuras a seguir.

Figura 1 – Prensa rotativa a vapor.



Fonte: ISTOCKPHOTO. Prensa rotativa a vapor. [imagem]. Disponível em: https://www.istockphoto.com/br/search/2/image-film?phrase=revolu%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20. Acesso em: 23 mai. 2025.

Figura 2 – Complexo industrial.



Fonte: ISTOCKPHOTO. Prensa rotativa a vapor. [imagem]. Disponível em: https://www.istockphoto.com/br/search/2/image-film?phrase=revolu%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20. Acesso em: 23 mai. 2025.

Figura 3 – Locomotiva a vapor.

Fonte: ISTOCKPHOTO. Prensa rotativa a vapor. [imagem]. Disponível em: https://www.istockphoto.com/br/search/2/image-film?phrase=revolu%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20. Acesso em: 23 mai. 2025.

4 ENERGIA NO BRASIL

A chegada da energia elétrica no Brasil foi no ano de 1879, quando Dom Pedro II concedeu a permissão a Thomas Edison para implantar seus equipamentos no País para fins de iluminação pública. O primeiro espaço a receber energia elétrica foi a estação central da estrada de ferro D. Pedro II na cidade do Rio de Janeiro. Em 1883 foi inaugurada a linha Fonseca, a primeira linha de bondes elétricos no País na cidade de Niterói, no Rio de janeiro, que funcionou de maneira precária e irregular por apenas dois anos. (ANEEL, 2023).

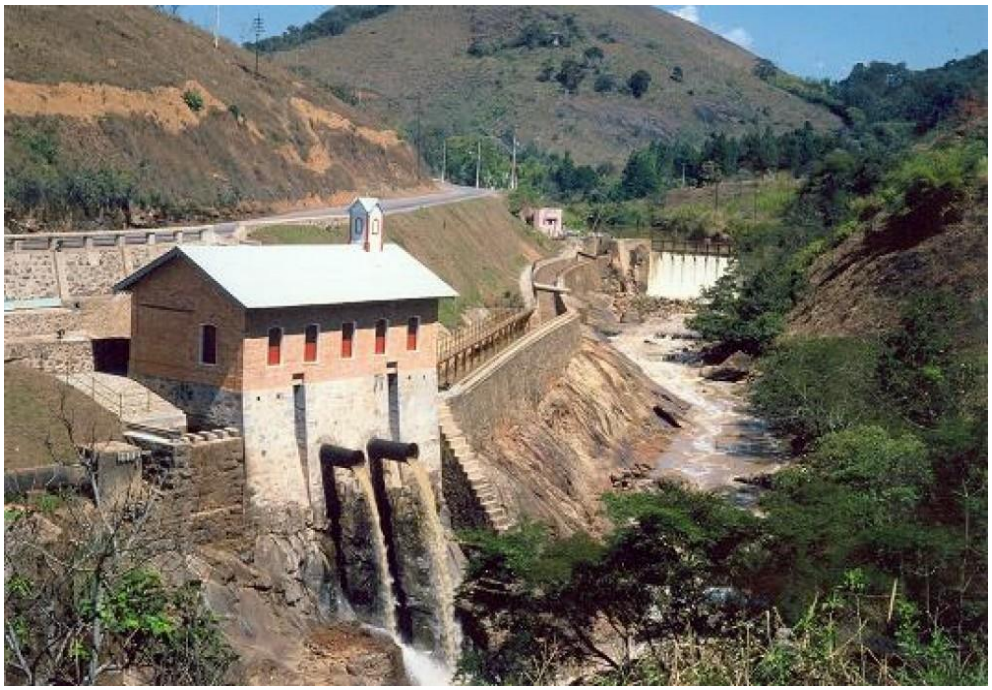
Em 1883 foi inaugurada na cidade de campos o primeiro serviço de iluminação pública municipal da América do Sul, funcionava a partir de uma máquina motriz a vapor. Nesse mesmo ano foi instalada no Brasil a primeira usina termelétrica, com uma capacidade total de 52 kW para abastecer a iluminação que havia sido instalada. (ANEEL, 2023).

4.1 primeira usina hidrelétrica do brasil

Em 1883 datam as primeiras operações para implantação da usina hidrelétrica em um afluente do Rio Jequitinhonha para atender serviços de mineração em diamantina, no estado de Minas Gerais. Mas em 1889 no mesmo estado foi construída a primeira usina hidrelétrica de grande porte no Brasil. Marmelos-zero foi inaugurada em juiz de fora MG foi a primeira usina hidrelétrica da américa latina a fornecer energia para serviços de iluminação pública e particular e alimentar a indústria têxtil. (ANEEL, 2023).

Fonte de energia tão viável que atualmente representa o maior percentual na geração de energia elétrica no Brasil, levanta discussões pelo fato de ter por consequência no local de instalação o desmatamento e desapropriação de grandes áreas, trazendo prejuízo na fauna e flora. Em 1889 em local estratégico foi implantado a hidrelétrica de Marmelos, que necessitou de pouca desapropriação e desmatamento pelo fato de se tratar de uma usina de pequeno porte e o local de implantação possuir boa localização geográfica e topográfica o que favorecia a geração de energia, que em 2025 segue em funcionamento, como mostra as figuras a seguir.

Figura 4 – Usina de Marmelos.

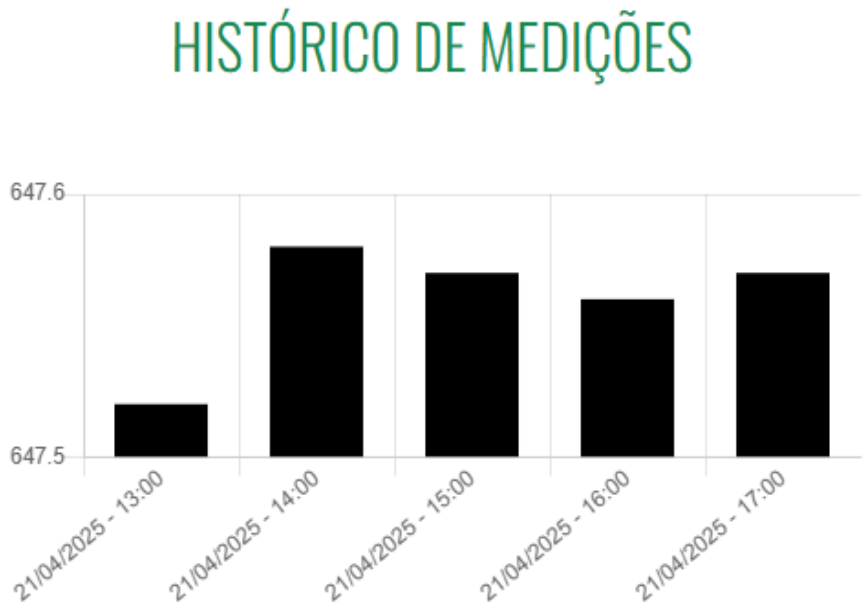


Fonte: CGH Libera Maria. **Usina Hidrelétrica de Marmelos (1889)**. [Imagem]. Disponível em: http://cghliberamaria.com.br/setor-hidreletrico/p,3,usina-hidreletrica-de-marmelos-1889. Acesso em: 23 maio 2025.

Figura 5 – Dados hídricos atuais da usina.

Fonte: CEMIG. **CGH Marmelos**. [Imagem]. Disponível em: https://www.cemig.com.br/usina/cgh-marmelos/. Acesso em: 23 maio 2025.

Figura 6 – Histórico de medição da usina.



Fonte: CEMIG. **CGH Marmelos**. [Imagem]. Disponível em: https://www.cemig.com.br/usina/cgh-marmelos/. Acesso em: 23 maio 2025.

Em 1893 foi inaugurada a segunda usina hidrelétrica do país, a usina de Monjolinho na cidade de São Carlos – SP se tornando a segunda do Brasil e do hemisfério Sul.

Em 1946 foi lançado o Plano Nacional de eletrificação (PNE) com o propósito de democratizar e expandir o acesso à energia elétrica no País promovendo o desenvolvimento da infraestrutura elétrica e integrando os sistemas até então criados regionalmente isolados e com isso promovendo o crescimento econômico de diversas outras regiões por meio dessa integração.

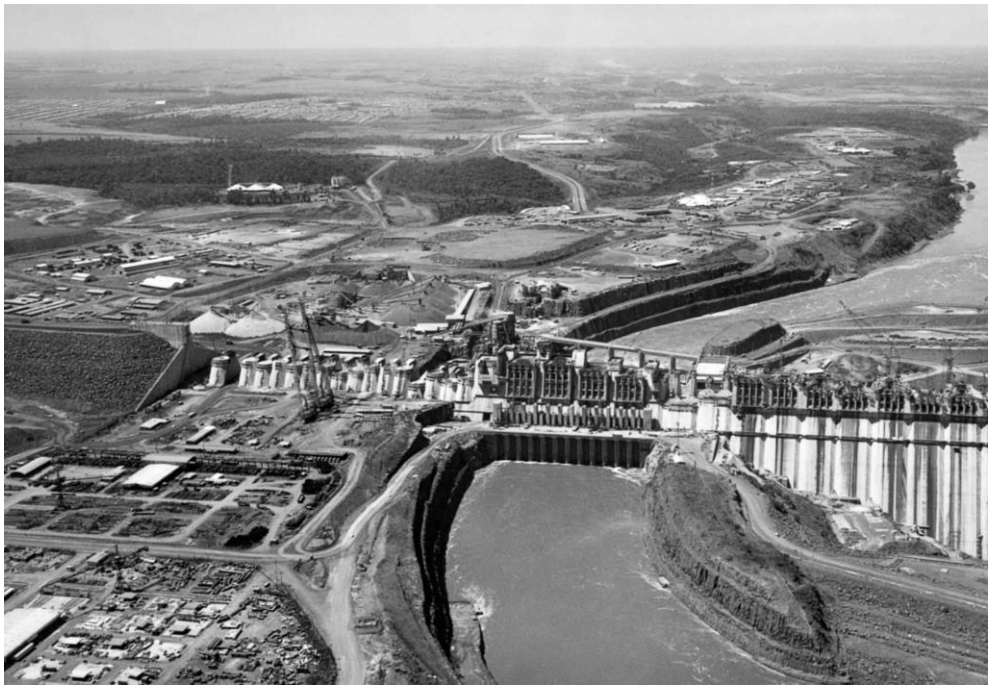
Com o decorrer dos anos, diversas políticas energéticas foram adotadas no Brasil para que pudesse acompanhar o desenvolvimento da indústria e o crescimento populacional, foram criados desde leis que criavam planos nacionais para o desenvolvimento energético, até órgãos fiscalizadores e agências reguladoras de energia. No decorrer dos anos também foram exploradas outras maneiras de geração de energia como a energia nuclear, com as autorização e construção da usina de Angra I em meados do ano de 1970.

4.2 a maior usina hidrelétrica do mundo

Em 26 de abril de 1973 foi firmado o tratado internacional entre o Brasil e Paraguai para a construção e operação da usina de Itaipu num trecho do rio Paraná, entre sete quedas e Foz do Iguaçu, usina que pertencia aos dois Países. O decreto nr.72707, de 28 de agosto de 1973 promulgou o tratado. (

O tratado previa a criação da Itaipu binacional, que constituía em partes iguais a Eletrobrás e Administración Nacional de Electricidad (ANDE) estatal paraguaia. A Itaipu binacional ficava incumbida de executar obras e explorar a energia produzida, com uma capacidade estipulada de geração de 12.600 MW que tornava o empreendimento o maior do mundo para o gênero naquela época, conforme figuras a seguir.

Figura 7 – Usina de Itaipu em construção.



Fonte: COMBO IGUASSU. **Usina Hidrelétrica de Itaipu em construção**. [Imagem]. Disponível em: https://www.comboiguassu.com.br/08-fatos-historicos-sobre-a-usina-hidreletrica-de-itaipu/. Acesso em: 23 maio 2025.

Figura 8 – Usina de Itaipu.

Fonte: TURISMO ITAIPU. **Usina Hidrelétrica de Itaipu**. [Imagem]. Disponível em: https://turismoitaipu.com.br/blog/usina-de-itaipu-curiosidades/. Acesso em: 23 maio 2025.

5 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O Ministério de Minas e Energia no ano de 2024 divulgou dados da matriz energética brasileira e pontuou as fontes mais usadas para abastecer o País. A maior dentre as fontes geradoras é a hídrica com 55%, eólica com 14,8% e biomassa com 8,4%. Somando com as demais fontes, no ano de 2024 o Brasil superou a geração estimada de energia para o ano, chegando na marca de 200 gigawatts de potência centralizada (GOVERNO/SECOM, 2025).

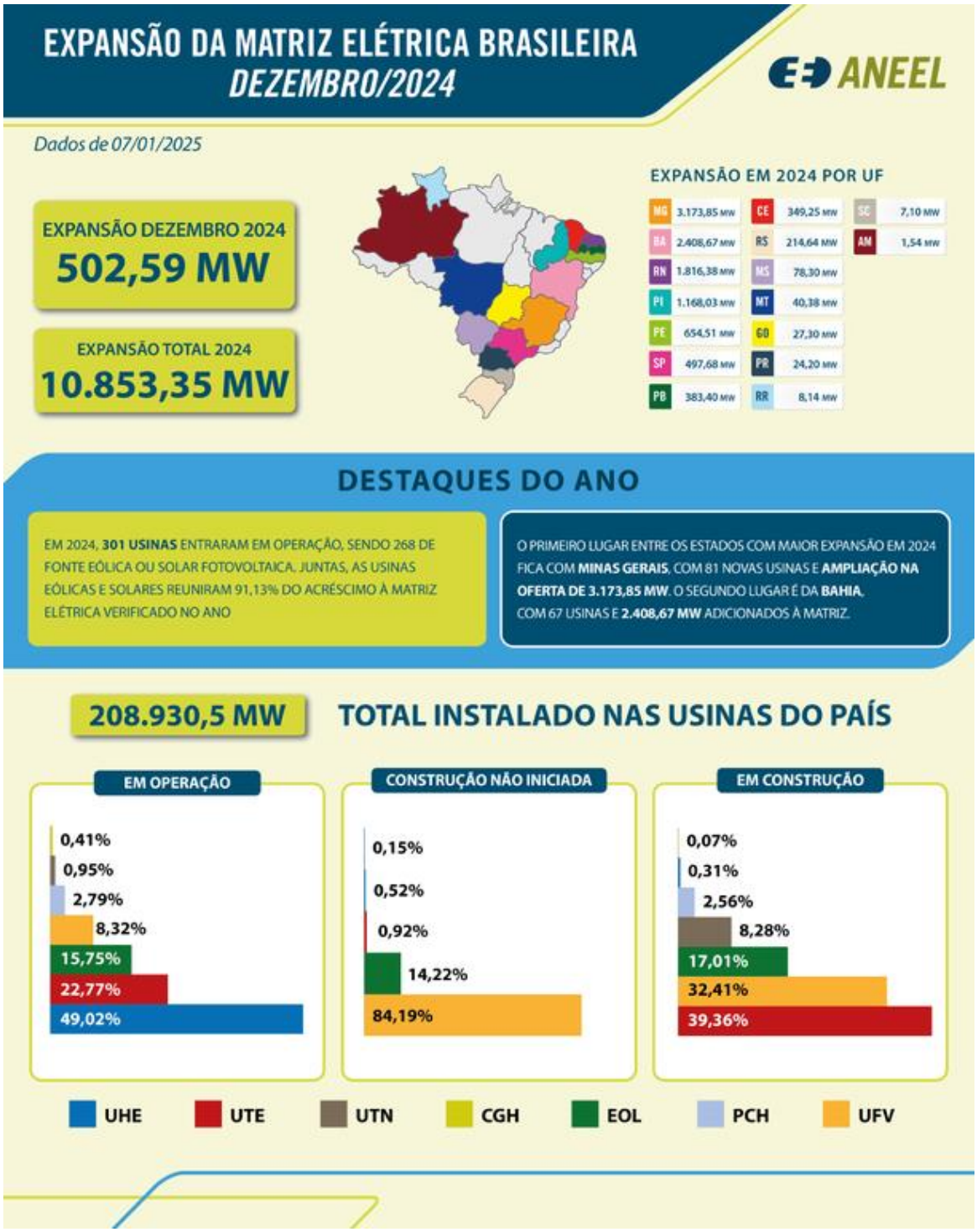
Em 2024 o Brasil registrou um aumento de 10.853,35 megawatts (MW) na matriz de geração de energia elétrica, marca que desde o ano de 1997 não atingia, e ultrapassou a meta para o mesmo ano que era de 10.106 MW (GOVERNO/SECOM, 2025).

Essa marca só foi possível pela recorde de implantação de usinas de energias renováveis no brasil que no total soma 301 novas plantas em 16 diferentes estados brasileiros. Esse acréscimo na geração no ano de 2024 se dá 91,13% por energias renováveis sendo a fotovoltaica acrescendo 51,87% e a eólica 39,26 (GOVERNO/SECOM, 2025).

A figura a seguir mostra de maneira detalhada o avanço energético no Brasil no ano de 2024, que obteve um acréscimo na geração. Mostra esse percentual por estado, evidenciando o quanto cada unidade da federação contribuiu para o aumento na produção de energia naquele ano e demonstra as usinas em iniciadas, em construção e em operação o que justifica tal aumento.

Fica claro que as usinas hidroelétricas tiveram uma estagnação em instalação de novas plantas, pois a produção atual que contribui de maneira significativa para o País com 49,02% da geração do ano de 2024, não teve avanços em novas instalações no mesmo ano, e ainda é possível observar um aumento na construção de novas usinas de energias renováveis o que demonstra a preocupação do Brasil no que diz respeito a transição energética para uma matriz de energia limpa e renovável.

Figura 9 - Expansão da matriz energética



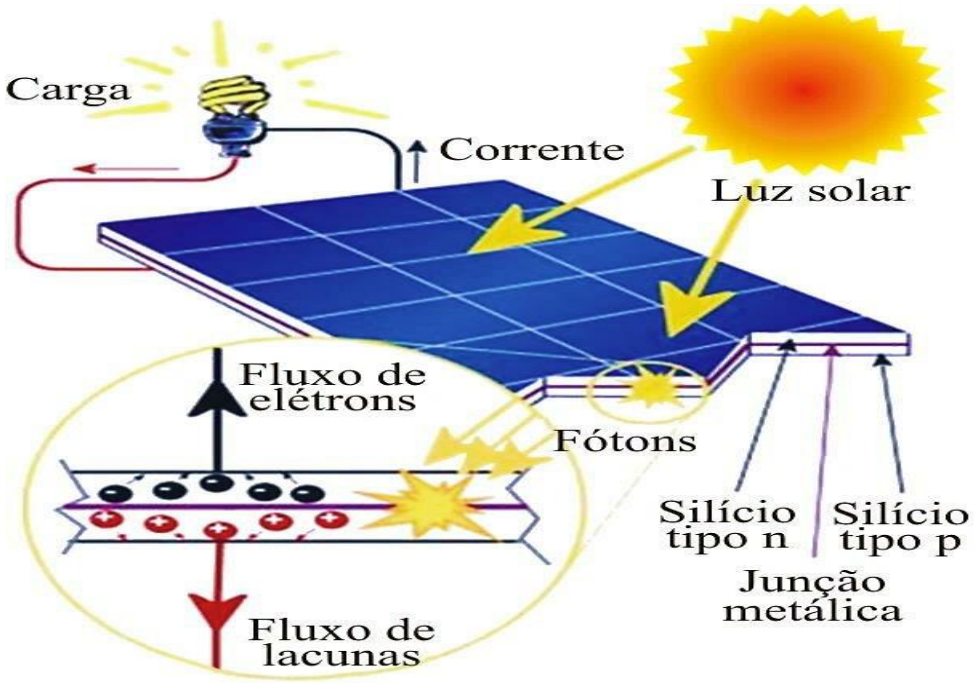
Fonte: Brasil. Secretaria de Comunicação Social. Matriz elétrica brasileira registra maior expansão da história em 2024. Brasília: Secom, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/janeiro/matriz-eletrica-brasileira-registra-maior-expansao-da-historia-em-2024. Acesso em: 26 maio 2025.

6 ENERGIA SOLAR

> O efeito FV consiste na obtenção de corrente elétrica quando fótons provenientes da radiação solar incidem sobre um material semicondutor previamente purificado e dopado. O material semicondutor mais utilizado no mercado para a geração elétrica fotovoltaica é o silício, também largamente *empregado na indústria eletrônica (SOUZA; MARQUES; PEREIRA, 2013, p.2).*

A figura abaixo representa o diagrama fotovoltaico demonstrando a transformação de energia solar em energia elétrica.

Figura 10 – Diagrama fotovoltaico.



Fonte: VOUDOUKIS, Nikolaos. **Figura 2 – Diagrama de um painel solar fotovoltaico**. [Imagem]. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Diagrama-de-um-painel-solar-fotovoltaico-Fonte-Voudoukis-2018_fig2_363384489. Acesso em: 23 maio 2025.

Indiretamente podemos dizer que a grande maioria das fontes de energia conhecidas provem da energia solar, como por exemplo a energia proveniente de combustíveis fósseis, o sol foi necessário para que houvesse vida na terra a milhões de anos atrás para que os dinossauros habitassem o planeta. O clico hidrológico tem como uma de suas etapas a evaporação das águas superficiais do planeta, as energias que usam a combustão de madeira como fonte de energia necessitam do sol como um dos principais agentes da fotossíntese para que haja vida e crescimento das

árvores entre esses outros exemplos são maneiras de demonstrar a relevância do sol para as demais fontes de energia pelo mundo.

A energia proveniente do sol é proveniente da radiação solar e pode ser aproveitada basicamente de dois tipos, a Energia solar térmica e a Energia solar fotovoltaica.

A energia solar térmica pode ser caracterizada pela conversão da radiação solar na forma de temperatura para aquecer fluídos, amplamente utilizada para aquecimento de água nas residências.

Energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão da radiação solar em energia elétrica por intermédio de materiais semicondutores, tal fenômeno é conhecido como efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmund Becquerel, onde notou-se o aparecimento de uma tensão entre os eletrodos de solução condutora, quando esta era iluminada pela luz solar (GACIA, 1995).

6.1 energia solar no brasil

A introdução da Resolução Normativa nº 482, publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012, representou um divisor de águas para o setor elétrico brasileiro, ao instituir oficialmente o sistema de geração distribuída. Esse marco regulatório passou a permitir que unidades consumidoras gerassem sua própria energia a partir de fontes renováveis, conectando-se à rede de distribuição. (SOLLED ENERGIA, 2022).

A normativa estabeleceu as bases para modalidades como a microgeração — exemplificada por sistemas fotovoltaicos instalados em telhados residenciais — e a minigeração, viabilizando empreendimentos de maior porte, como as chamadas fazendas solares, a exemplo dos projetos desenvolvidos pela empresa Rigo. Além disso, a resolução definiu critérios técnicos para a conexão à rede e introduziu o mecanismo de compensação de energia elétrica, pelo qual a energia excedente produzida pode ser convertida em créditos utilizados para abater o consumo futuro. (SOLLED ENERGIA, 2022).

Paralelamente, o governo federal adotou uma série de medidas de estímulo à adoção de fontes renováveis. Entre elas, destacam-se a concessão de isenções

fiscais, como os referentes ao IPI e ao ICMS, a criação de linhas de crédito específicas por meio do BNDES e a redução de alíquotas de importação para equipamentos relacionados à energia solar.

A partir dessas iniciativas, o segmento de energia solar fotovoltaica no Brasil passou por uma expansão significativa. Conforme dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a capacidade instalada no país aumentou de apenas 7 megawatts (MW) em 2012 para aproximadamente 6 gigawatts (GW) em 2020. O setor também se mostrou relevante do ponto de vista socioeconômico, gerando mais de 180 mil postos de trabalho ao longo do período. (SOLLED ENERGIA, 2022).

No contexto internacional, o Brasil apresentou expressivo avanço. Em 2020, o país alcançou a 16ª posição no ranking global de capacidade instalada de energia solar, elaborado pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), um salto considerável em relação ao 27º lugar ocupado em 2017.

Apesar do progresso observado, o potencial brasileiro para a geração de energia solar ainda é subutilizado. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, produzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), até mesmo as regiões menos ensolaradas do Brasil apresentam capacidade de geração superior à das áreas mais ensolaradas da Alemanha — nação reconhecida mundialmente pelo protagonismo no uso de fontes fotovoltaicas. Tal constatação evidencia a vantagem climática do Brasil e o espaço existente para a ampliação da participação da energia solar na matriz energética nacional, como mostram as figuras a seguir.

Figura 11 – Geração de energia elétrica por fonte no Brasil.

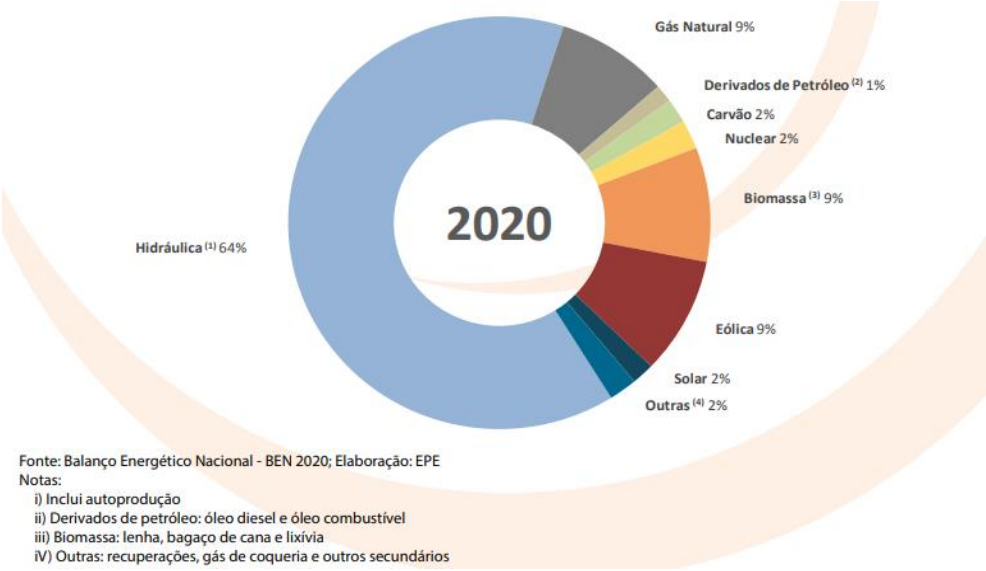
	2016	2017	2018	2019	2020	Δ% (2020/2019)	Part. % (2020)	
Total	**578.898**	**587.962**	**601.396**	**626.324**	**621.219**	**-0,8**	**100,0**	**Total**
Hidráulica (i)	380.911	370.906	388.971	397.877	396.381	-0,4	63,8	Hydraulics (i)
Gás Natural	56.550	65.591	54.295	60.188	53.515	-11,1	8,6	Natural Gas
Derivados de Petróleo (ii)	12.207	12.911	10.293	7.846	8.556	9,1	1,4	Petroleum Products (ii)
Carvão	17.001	16.257	14.204	15.327	11.946	-22,1	1,9	Coal
Nuclear	15.864	15.739	15.674	16.129	14.053	-12,9	2,3	Nuclear
Biomassa (iii)	49.236	49.385	51.876	52.111	55.613	6,7	9,0	Biomass (iii)
Eólica	33.489	42.373	48.475	55.986	57.051	1,9	9,2	Wind
Solar	85	831	3.461	6.651	10.717	61,1	1,7	Solar Power Plants
Outras (iv)	13.554	13.968	14.147	14.210	13.387	-5,8	2,2	Others (iv)

Fonte: Balanço Energético Nacional 2021; Elaboração: EPE
Notas:
(1) Inclui PCH, CGH e autoprodução;
(2) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível;
(3) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia;
(4) Outras: gás de coqueria, outras secundárias, outras não renováveis, outras renováveis e biodiesel.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2021: ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021. Acesso em: 26 maio 2025.

Das fontes de energia elétrica a hidráulica que provém das usinas hidrelétricas é atualmente a fonte que mais contribui para a geração de energia no Brasil, conforme mostra o percentual na figura a seguir.

Figura 12 – Percentual das fontes de energia elétrica.



Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN 2020; Elaboração: EPE
Notas:
i) Inclui autoprodução
ii) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível
iii) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia
iV) Outras: recuperações, gás de coqueria e outros secundários

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2021: ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021. Acesso em: 26 maio 2025.

7 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas referem-se a alterações significativas e persistentes nos padrões climáticos da Terra, como temperatura, precipitação e ocorrência de eventos extremos. Embora variações naturais sempre tenham ocorrido, nas últimas décadas essas mudanças vêm sendo intensificadas pela ação humana, especialmente pela emissão de gases de efeito estufa resultantes da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e atividades industriais.

As consequências dessas alterações climáticas são cada vez mais evidentes na vida dos seres humanos. Entre os principais impactos estão a intensificação de ondas de calor, secas prolongadas e inundações, que afetam diretamente a saúde pública, a segurança alimentar e o acesso à água potável. Além disso, eventos climáticos extremos contribuem para o deslocamento forçado de populações, aumento de doenças relacionadas ao clima (como infecções respiratórias e enfermidades transmitidas por vetores) e ampliação das desigualdades sociais, especialmente em regiões mais vulneráveis. Assim, as mudanças climáticas representam um dos maiores desafios globais da atualidade, exigindo respostas urgentes e coordenadas.

7.1 aumento global de temperatura

Em 2024 o mundo presenciou o ano mais quente da história, ultrapassando os níveis pré-industriais (1850 a 1900), com a temperatura média global ultrapassando 1,5 °C, patamar estabelecido para evitar desastres climáticos no acordo de Paris.

Outros fatores foram observados com esse aumento mundial de temperatura como a quantidade de vapor d’água na atmosfera, 5% maior que os demais anos. A temperatura média dos mares chegou a 20,87 °C e cerca de 44% da superfície terrestre foi afetada pelos estresses climáticos gerados pelo aumento da temperatura.

Depois que o El Niño acabou, imaginou-se que poderia haver uma pequena queda, porém, ao contrário, a temperatura aumentou mais ainda, o primeiro semestre de 2024 foi muito quente, e a situação continuou pelo resto do ano. O Copernicus compara com registros que começaram em 1850, mas na verdade, estudos arqueológicos comprovam que nunca a temperatura foi tão alta desde o último período interglacial, há 125 mil anos. (BERNARDES, 2025, p.2).

Há 80% de probabilidade de que a temperatura média global anual exceda temporariamente em 1,5°C os níveis pré-industriais durante pelo menos um dos próximos cinco anos. A temperatura média global próxima à superfície deve ser entre 1,1°C e 1,9°C mais alta entre 2024 e 2028, comparada com o período de referência 1850-1900 (JORNAL USP, 2025).

8 ESTUDO DE CASO

O presente estudo tem como objetivo analisar a influência das mudanças climáticas na geração de energia fotovoltaica em diferentes regiões do Brasil, com foco na cidade de Itapetininga, localizada na região sudoeste do estado de São Paulo. A escolha do município se justifica por suas características geográficas, climáticas e socioeconômicas, que o tornam um ponto estratégico para a avaliação do desempenho e da viabilidade da energia solar em regiões de clima subtropical úmido.

Itapetininga está situada a aproximadamente 170 km da capital paulista e ocupa uma área territorial de 1.789,35 km², sendo o terceiro maior município em extensão do estado de São Paulo. A topografia local é marcada por pequenas ondulações e amplas várzeas, com vegetação predominante de campos limpos e cerrados, e sem ocorrência de serras. O clima é classificado como subtropical úmido, sujeito a ventos predominantes das direções sul e sudeste, com ocorrência de geadas fracas (IBGE, 2024).

A cidade apresenta uma média anual de temperatura de 20,9 °C, com valores médios mensais variando entre 15,0 °C (mês mais frio) e 22,0 °C (mês mais quente). A média máxima registrada é de 25,7 °C, e a mínima, de 16,01 °C, resultando em uma amplitude térmica média de 9,6 °C. A precipitação pluviométrica anual é de 1.217,2 mm, sendo o mês mais seco agosto, com 35,1 mm. O período seco se estende de abril a setembro, enquanto o mais chuvoso vai de outubro a março, com deficiência hídrica anual variando de 0 a 25 mm (IBGE, 2024).

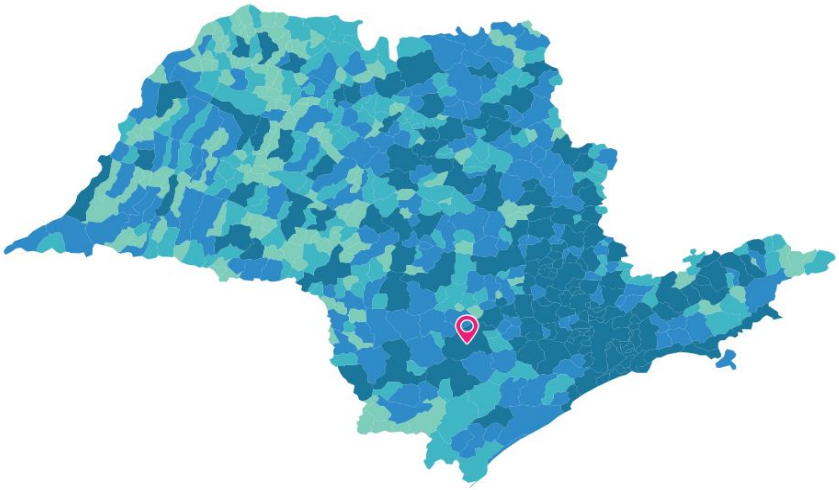
Além dos aspectos naturais, Itapetininga destaca-se por sua importância econômica e histórica. O município ocupa a 26ª posição entre as 475 cidades brasileiras de médio porte em desempenho econômico e abriga mais de 12 mil empresas ativas. A economia local é diversificada, com destaque para os setores alimentício, têxtil, químico, moveleiro, de autopeças e de recursos energéticos, como o gás natural. O município também figura como um importante polo do agronegócio, ocupando o 12º lugar no ranking do PIB agrícola paulista (IBGE, 2024).

Todos esses fatores tornam Itapetininga uma cidade exemplar para o estudo da influência do clima sobre a geração de energia fotovoltaica. Sua combinação de alta radiação solar, temperatura amena e baixos índices de deficiência hídrica, aliada à sua infraestrutura urbana e rural, oferece condições favoráveis para o

desenvolvimento e a expansão de tecnologias sustentáveis, contribuindo para estratégias de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e para o fortalecimento da matriz energética limpa no Brasil.

A figura a seguir demonstra a posição do município de Itapetininga no estado de São Paulo.

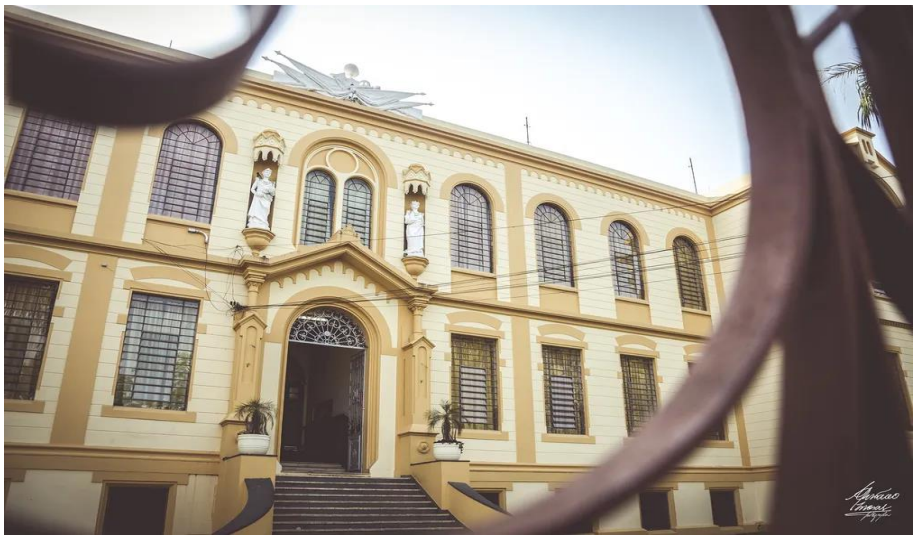
Figura 13 - Município de Itapetininga.



Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Panorama do município de Itapetininga/SP*. [imagem]. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/itapetininga/panorama. Acesso em: 11 jun. 2025.

No campo educacional, Itapetininga é conhecida como a “Terra das Escolas”, um reconhecimento sustentado por sua rica trajetória na área da educação. Abriga 26 escolas estaduais, 83 escolas municipais e 22 colégios particulares, além de ter sido sede da antiga escola normal superior pioneira no interior paulista e da tradicional Escola Peixoto Gomide, projetada por Ramos de Azevedo, como mostra a figura abaixo:

Figura 14 - Escola Peixoto Gomide.



Fonte: G1. **Conheça a história da Escola Peixoto Gomide, tradicional símbolo de Itapetininga**. [Imagem]. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/itapetininga-regiao/noticia/2020/11/05/conheca-a-historia-da-escola-peixoto-gomide-tradicional-simbolo-de-itapetininga.ghtml. Acesso em: 23 maio 2025.

Abaixo, segue figura mostrando a localização da escola presente no estudo, EMEI Profª Zenith Galvão Terra.

Figura 15 - Localização da escola municipal.

Fonte: GOOGLE EARTH. EMEI Profª Zenith Galvão Terra, Itapetininga – SP. Google, 2025. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/EMEI+Prof%c2%aa+Zenith+Galv%c3%a3o+Terra. Acesso em: 11 jun. 2025.

9 ANÁLISE DE DADOS

A análise e o tratamento dos dados consistem na interpretação e interpolação das projeções apresentadas no artigo, que aborda a redução das incertezas nas estimativas climáticas relacionadas aos recursos de energia solar no Brasil. O estudo discute a produção de energia solar futura no país, utilizando diversas metodologias para quantificar a radiação solar de superfície (SSR) projetada, que representa a provável incidência de radiação solar sobre a superfície terrestre. Entre as metodologias avaliadas, o modelo CMIP6 foi adotado como a base mais otimista para projeções de geração de energia solar. Com base nesses dados, este trabalho busca comparar a possível geração de energia solar estimada para uma escola municipal localizada em Itapetininga-SP, com uma demanda instalada de (48,6 kW/mês), com a geração estimada para outras escolas com características semelhantes situadas em regiões do Brasil onde as projeções do artigo indicam cenários otimistas e pessimistas para a radiação solar.

A metodologia CMIP6 é uma das diversas possibilidades de combinações das multivariáveis que envolvem os impactos das mudanças climáticas na geração de energia, como o vento, precipitação, sazonalidade das estações, pressão atmosférica, desenvolvimento industrial, crescimento econômico entre outras variáveis. Mas é considerado o método mais otimista e assume que os fatores permanecerão em equilíbrio para que tudo haja em normalidade.

A radiação solar na superfície SSR, do inglês (*Surface Solar Radiation*) representa a quantidade de energia solar que atinge a superfície terrestre, expressa em W/m². Esse indicador é fundamental para avaliar o potencial de geração de energia fotovoltaica, pois reflete diretamente a disponibilidade de recurso solar em uma região. A SSR é influenciada por fatores atmosféricos, como cobertura de nuvens, aerossóis, vapor d'água e gases presentes na atmosfera. Alterações na SSR, sejam sazonais ou provocadas por mudanças climáticas, impactam diretamente o desempenho e a viabilidade da geração de energia solar.

O artigo utilizado para a elaboração do trabalho considera duas possíveis situações para o cenário brasileiro no tocante a geração de energia solar. O primeiro cenário representa a situação em que os fatores socioeconômicos seguem suas tendências históricas com progresso lento em direção à sustentabilidade socioambiental e aumento da temperatura em até 2,7°C até o final do século. O

segundo cenário assume que a economia mundial terá crescimento rápido com pouca preocupação com questões ambientais, resultando no aumento de temperatura até 4,4 graus no fim do século.

Observando o conjunto de informações concedidas pelo município de Itapetininga, transformamos a potência necessária para atender as atividades escolares da unidade e com base nos dados climáticos, observamos o cenário otimista para a geração de energia e questionamos quais seriam os impactos da instalação de painéis fotovoltaicos para que fosse substituída a matriz energética da unidade.

A fim de garantir resultados otimistas para a verificação do método, o estudo de caso buscou apoiar na melhor fabricante de painéis solares do ano de 2024 e o painel escolhido foi o que possui melhor rendimento entre os demais, como demostra a figura a seguir.

Figura 16 - Painel solar.

Fonte: Wuxi Guanji New Materials Co., Ltd. Painel solar. Disponível em: https://www.gj-energy.com/products/Jinko/78HL4-BDV-625-650W.html. Acesso em: 26 maio 2025.

Conforme dados fornecidos pela prefeitura municipal, e usando da potência demandada para a unidade escolar temos que a quantidade de painéis para a geração atual seria:

$$Nº\ de\ painéis: \frac{geração\ do\ painel}{potencia\ demandada}$$ (PORTAL SOLAR, s.d.).

$$Nº\ de\ painéis: \frac{48{,}6 * \ 10^3}{\frac{(650 + 625)}{2}} = 76{,}23 \cong 77\ painéis.$$

Para a situação atual da unidade seriam necessárias hoje que 77 painéis de 2465 x 1134 mm fossem instaladas para que seja atendida a sua demanda. Sem considerar perda de geração por nebulosidade ou estações do ano. Considerando as situações otimistas do estudo que em localidades favorecidas geograficamente a geração de energia aumentaria 8%, decidimos aumentar a eficiência dos painéis por não possuirmos dados concretos da incidência solar na cidade de Itapetininga:

$$Nº\ de\ painéis: \frac{48{,}6 * \ 10^3}{\frac{(650 + 625)}{2} * 0{,}08} = 75{,}63 \cong 76\ painéis.$$

10 RESULTADOS

O estudo apontou para um aumento na possível geração de energia para a unidade escolar no município de Itapetininga-SP, sendo possível haver uma diminuição na quantidade de placas necessárias para atender o consumo da escola, tendo sido feita a análise com todas as variáveis em condições otimistas e usando das mudanças climáticas para se beneficiar na geração de energia solar. Foram encontradas limitações com relação a acesso a satélites, programas, algoritmos e dados oficiais do município que pudessem fornecer dados exatos para o período em que foi realizado o estudo para a cidade de Itapetininga, a fim de que fosse possível ter mais chances de resultados reais e poder sugerir com maior precisão a possível mudança na matriz energética das unidades escolares do município.

Vale ressaltar que o estudo se limita nas regiões onde o método utilizado CMIP6 apontou que haveria crescimento na superfície da radiação solar, e locais onde é possível aferir com acurácia que os fatores otimistas com relação ao clima podem ser alcançados. Para pesquisas futuras ao redor do tema vale reforçar se faz necessário utilizar de informações de satélite e sistemas que possam garantir probabilidades assertivas para as regiões de interesse e conflitar as mesmas com as informações que o método CMIP6 oferece, mas ainda por se tratar de questões climáticas e voláteis que dependem de diversos fatores, os estudos devem deixar claro que se trata de dados probabilísticos e que não é o suficiente para tomar grandes decisões.

11 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados, pode-se afirmar que haverá um aumento da radiação solar sobre a superfície terrestre em algumas regiões nos próximos anos. Esse fenômeno, associado às mudanças climáticas, pode trazer benefícios ao setor energético, especialmente na geração de energia solar. Os dados demonstram que os estados com maior número de usinas solares em operação e em construção serão justamente os mais impactados por esse aumento de radiação, o que reforça as projeções da Secretaria de Comunicação Social, que indicam um cenário promissor para a transição da matriz energética brasileira.

Esse contexto justifica o crescimento do número de instalações de fontes limpas de energia no país. No entanto, apesar do potencial identificado, ainda não é possível afirmar com precisão que a substituição da matriz energética das unidades escolares da energia elétrica convencional para a solar seja viável em larga escala. Para que mudanças dessa natureza ocorram de forma efetiva, é necessário coletar dados mais específicos para cada região e analisá-los em conjunto com diversas variáveis climáticas que influenciam diretamente o desempenho dos sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Caminhos do Setor Elétrico Brasileiro. Disponível em: https://caminhosregulacao.aneel.gov.br/caminhos3.asp. Acesso em: 23 abr. 2025.

BERNARDES, Júlio. Temperatura global aumenta 1,6°C e segue subindo: "É como tentar parar um caminhão em alta velocidade". Jornal da USP, 10 jan. 2025. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/temperatura-global-aumenta-16c-e-segue-subindo-e-como-tentar-parar-um-caminhao-em-alta-velocidade/. Acesso em: 17 maio 2025.

BRASIL. Secretaria de Comunicação Social. Matriz elétrica brasileira registra maior expansão da história em 2024. Brasília: Secom, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/janeiro/matriz-eletrica-brasileira-registra-maior-expansao-da-historia-em-2024. Acesso em: 26 maio 2025.

CEMIG. CGH Marmelos. [Imagem]. Disponível em: https://www.cemig.com.br/usina/cgh-marmelos/. Acesso em: 23 maio 2025.

CGH LIBERA MARIA. Usina Hidrelétrica de Marmelos (1889). [Imagem]. Disponível em: http://cghliberamaria.com.br/setor-hidreletrico/p,3,usina-hidreletrica-de-marmelos-1889. Acesso em: 23 maio 2025.

COMBO IGUASSU. Usina Hidrelétrica de Itaipu em construção. [Imagem]. Disponível em: https://www.comboiguassu.com.br/08-fatos-historicos-sobre-a-usina-hidreletrica-de-itaipu/. Acesso em: 23 maio 2025.

de LIMA, F. J. L.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S. et al. Reduzindo incertezas de projeções climáticas sobre recursos de energia solar no Brasil. Scientific Reports, v. 14, p. 23586, 2024.

DIAS, Eduardo Mario et al. (coord.). Automação e sociedade: impactos da quarta revolução industrial na indústria, nos empregos, na educação e na inovação. Rio de Janeiro, RJ: Brasport, 2019. E-book. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 11 jun. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2021: ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021. Acesso em: 26 maio 2025.

ESPOSITO, Alexandre Siciliano; FUCHS, Paulo Gustavo. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 40, p. 85–113, dez. 2013. Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2431. Acesso em: 23 abr. 2025.
G1. Conheça a história da Escola Peixoto Gomide, tradicional símbolo de Itapetininga. [Imagem]. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/itapetininga-regiao/noticia/2020/11/05/conheca-a-historia-da-escola-peixoto-gomide-tradicional-simbolo-de-itapetininga.ghtml. Acesso em: 23 maio 2025.
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Busca por "Itapetininga". Disponível em: https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=itapetininga. Acesso em: 11 jun. 2025.
ISTOCKPHOTO. Prensa rotativa a vapor. [Imagem]. Disponível em: https://www.istockphoto.com/br/search/2/image-film?phrase=revolu%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20. Acesso em: 23 maio 2025.
ORGANIZAÇÃO METEREOLÓGICA MUNDIAL. Atualização Climática Global Anual para a Década (2024–2028). Genebra: OMM, 2024. Disponível em: https://wmo.int/publication-series/wmo-global-annual-decadal-climate-update-2024-2028. Acesso em: 17 maio 2025.
PORTAL SOLAR. Quantas placas solares preciso? Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/quantos-paineis-solares-preciso-para-residencia.html. Acesso em: 23 mai. 2025.
SOLLED ENERGIA. A história da energia solar no Brasil. [S.l.]: Solled Energia, [s.d.]. Disponível em: https://solledenergia.com.br/a-historia-da-energia-solar-no-brasil/. Acesso em: 23 abr. 2025.
TURISMO ITAIPU. Usina Hidrelétrica de Itaipu. [Imagem]. Disponível em: https://turismoitaipu.com.br/blog/usina-de-itaipu-curiosidades/. Acesso em: 23 maio 2025.
VOUDOUKIS, Nikolaos. Figura 2 – Diagrama de um painel solar fotovoltaico. [Imagem]. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Diagrama-de-um-painel-solar-fotovoltaico-Fonte-Voudoukis-2018_fig2_363384489. Acesso em: 23 maio 2025.
WUXI GUANJI NEW MATERIALS CO., LTD. Painel solar. Disponível em: https://www.gj-energy.com/products/Jinko/78HL4-BDV-625-650W.html. Acesso em: 26 maio 2025.

ANEXO A – ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DOS PAINÉIS.

Fonte: GOOGLE EARTH. EMEI Profª Zenith Galvão Terra, Itapetininga – SP. Google, 2025. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/EMEI+Prof%c2%aa+Zenith+Galv%c3%a3o+Terra. Acesso em: 11 jun. 2025.

ANEXO B – DISPOSIÇÃO DAS PLACAS PÓS ESTUDO.

Fonte: GOOGLE EARTH. EMEI Profª Zenith Galvão Terra, Itapetininga – SP. Google, 2025. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/EMEI+Prof%c2%aa+Zenith+Galv%c3%a3o+Terra. Acesso em: 11 jun. 2025.