

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TRIÂNGULO MINEIRO – CAMPUS UBERABA
MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO VEGETAL**

RODRIGO ROCHA OLIVEIRA

**METODOLOGIAS PARA MELHORIA DA PRECISÃO DE DADOS DE
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL,
ORIUNDOS DA BASE DE DADOS NASA POWER® PARA ARAXÁ-MG**

**UBERABA - MG
2025**

RODRIGO ROCHA OLIVEIRA

**METODOLOGIAS PARA MELHORIA DA PRECISÃO DE DADOS DE
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL,
ORIUNDOS DA BASE DE DADOS NASA POWER® PARA ARAXÁ-MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Mestrado Profissional em Produção Vegetal, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

UBERABA - MG

2025

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Referência do IFTM –
Campus Uberaba-MG

O4m Oliveira, Rodrigo Rocha
 Metodologias para melhorias da precisão de dados de
precipitação pluviométrica e temperatura média mensal oriundos
da base de dados Nasa Power ® para Araxá- MG/ Rodrigo
Rocha Oliveira - 2025.
 49 f.: il.

 Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior.
 Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal) –
Instituto Federal do Triângulo Mineiro- *Campus Uberaba-MG*,
2025.

 1. Calibração. 2. Validação. 3. INMET 4. Modelos. I. Fraga
Júnior, Eusímio Felisbino II. Título.

CDD 551.5

RODRIGO ROCHA OLIVEIRA

**“METODOLOGIAS PARA MELHORIA DA PRECISÃO
DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL
ORIUNDOS DA BASE DE DADOS NASA POWER® PARA ARAXÁ-MG”**

FOLHA DE APROVAÇÃO DEFESA DISSERTAÇÃO

Data da aprovação: 23/05/2025

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

UFU - Monte Carmelo

Membro Titular

Prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes

UNIUBE

Membro Titular

Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis

UNIUBE

Local: Google Meet link: <https://meet.google.com/hmc-hrdj-saw>

EUSIMIO FELISBINO FRAGA JÚNIOR
MEMBRO PERMANENTE - PROGRAMA DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL



Documento assinado eletronicamente por EUSIMIO FELISBINO FRAGA JÚNIOR, MEMBRO PERMANENTE - PROGRAMA DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL, em 23/05/2025, às 10:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

ANDRE LUIS TEIXEIRA FERNANDES
MEMBRO PERMANENTE - PROGRAMA DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL



Documento assinado eletronicamente por ANDRE LUIS TEIXEIRA FERNANDES, MEMBRO PERMANENTE - PROGRAMA DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL, em 23/05/2025, às 11:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

LEONARDO CAMPOS DE ASSIS
MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE EXAME DE QUALIFICAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



Documento assinado eletronicamente por LEONARDO CAMPOS DE ASSIS, MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE EXAME DE QUALIFICAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, em 23/05/2025, às 11:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://iftm.edu.br/autenticacao/> informando o código verificador **B0D3DFD** e o código CRC **88A489F1**.

Referência: NUP: 23200.006551/2025-92

DOCS nº 0000721433

Àqueles que nunca deixaram de acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar e fortalecer. Aos meus pais, pelo amor, apoio e valores que me ensinaram e que foram fundamentais em minha jornada. À minha esposa Wanice, minha companheira de todas as horas, pelo incentivo incondicional, carinho e paciência. Às minhas filhas, Marina e Sabrina, que são a minha maior fonte de inspiração e motivo constante para buscar ser sempre melhor. Ao meu orientador Eusímio Felisbino Fraga Júnior, ao meu colega, Isaías Antonio de Paiva, pelo apoio técnico e aconselhamentos ao longo deste trabalho. Aos meus professores do programa de pós-graduação, que contribuíram com seus conhecimentos e críticas construtivas. Aos colegas e amigos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta caminhada. Muito obrigado a todos.

RESUMO

A obtenção de dados climáticos confiáveis é essencial para o planejamento agrícola, principalmente num cenário de mudanças climáticas. Dentre as bases de dados disponíveis, a plataforma NASA POWER destaca-se por ser gratuita e também por ter diversas aplicações científicas e ambientais. No entanto, ajustes regionais e a comparação com medições locais são necessárias para melhorar a precisão dos resultados. Este estudo avaliou a confiabilidade das estimativas do NASA POWER, quando comparadas com os dados da estação meteorológica A505 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), realizando calibrações e validações com três metodologias e diferentes faixas temporais da série histórica de 1981 a 2020 para a cidade de Araxá-MG. Foram comparadas metodologias para calibrações e validações, em escala mensal, sendo: 1º Regressão linear sem interseção definida (1.0), 2º Regressão linear com interseção fixa na origem (0x, 0y) (2.0) e 3º: Regressão linear com interseção fixa na origem (3.0). Para tal, foram utilizados dados climáticos mensais de temperatura do ar e precipitação pluviométrica, para um período de 40 anos, de 1981 até 2020. Foram testadas 3 faixas de tempo para calibração dos modelos de calibração, sendo: 1981-2010 (30 anos), 1981-1995 e 2006-2020 (30 anos) e 1986-2015 (30 anos); e, três faixas de tempo para a validação dos modelos de calibração obtidos: 2011-2020 (10 anos), 1996 a 2005 (10 anos) e 1981 a 1985 e 2016 a 2020 (10 anos). Os modelos '2.0' e '3.0' demonstraram maior aderência aos dados observados, sendo indicados para aplicações em estudos de projeções climáticas em escalas regionais. A faixa temporal de uma série histórica de dados destinada para calibração e validação tem impacto na aderência, erro e estabilidade estatística de modelos de estimativa das variáveis climatológicas. A combinação utilizando dados de 1981-1995 e 2006-2020 para calibração e o período de 1996–2005 para validação, foi o que proporcionou os melhores valores em todas as métricas, tanto para temperatura quanto para precipitação. Isto evidencia a importância da escolha de uma série temporal adequada. As estimativas de temperatura do ar e precipitação fornecidos pelo NASA POWER são confiáveis, e, podem ter sua precisão e acurácia melhorados principalmente, com uso das metodologias 2.0 e 3.0 utilizadas nesse estudo. Ressalta-se que a escolha da faixa temporal possui interferência na validação da metodologia, devido as mudanças sutis nos valores observados ao longo do tempo, sendo mais preciso utilizar para a calibração valores nas extremidades e para a validação os dados do centro. A partir dos resultados obtidos, a ferramenta NASA POWER pode ser uma alternativa confiável para estimativa de dados agrometeorológicos, em localidades que não possuam estações climáticas próximas, em que, os setores público e privado poderão utilizar as estimativas para implementar políticas de gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: calibração; validação; INMET; modelos.

ABSTRACT

The acquisition of reliable climate data is essential for agricultural planning, especially in the context of climate change. Among the available data sources, the NASA POWER platform stands out for being free and widely used in scientific and environmental applications. However, regional adjustments and comparisons with local measurements are necessary to improve the accuracy of its estimates. This study evaluated the reliability of NASA POWER estimates by comparing them with data from the A505 meteorological station of the Brazilian National Institute of Meteorology (INMET), through calibration and validation using three distinct methodologies and different time ranges from the historical series spanning 1981 to 2020 for the municipality of Araxá, Minas Gerais, Brazil. Linear regression models were tested on a monthly scale, namely: (1) linear regression without a defined intercept; (2) linear regression with a fixed intercept at the origin (0x, 0y); and (3) an alternative linear regression model also fixed at the origin. Monthly climate data for air temperature and rainfall were used over a 40-year period (1981–2020). Three calibration time spans were tested: 1981–2010, 1981–1995 + 2006–2020, and 1986–2015 (each comprising 30 years); and three validation time spans: 2011–2020, 1996–2005, and 1981–1985 + 2016–2020 (each 10 years). Models 2.0 and 3.0 showed greater adherence to observed data and are therefore recommended for use in regional climate projection studies. The choice of time series for calibration and validation significantly affects the model's adherence, error, and statistical stability. The combination using 1981–1995 and 2006–2020 for calibration, and 1996–2005 for validation, yielded the best performance across all metrics, for both temperature and precipitation. This highlights the importance of selecting an appropriate time range. NASA POWER estimates for air temperature and precipitation were found to be reliable and can be further improved using the 2.0 and 3.0 methodologies proposed in this study. It is worth noting that the time range used influences the validation process due to subtle variations in observed values over time; therefore, it is more accurate to use extreme values for calibration and central data for validation. Based on the results, NASA POWER is a reliable alternative for agrometeorological data estimation in regions lacking nearby weather stations, supporting both public and private sectors in implementing water resource management policies.

Keywords: calibration; validation; INMET; models.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Clima e agricultura no brasil	12
2.2 Deficiências na coleta de dados meteorológicos no Brasil cobertura limitada de estações meteorológicas, especialmente em áreas agrícolas	14
2.3 Fontes alternativas de dados climáticos: reanálises	16
2.4 A Plataforma NASA POWER	18
2.5 Métodos de calibração e validação de dados climáticos regressão linear simples e com intercepto fixo	21
2.6 Aplicações agrometeorologias dos dados calibrados	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Área de estudo	27
3.2 Dados utilizados	28
3.2.1 Dados meteorológicos do INMET	28
3.2.2 Dados meteorológicos do sistema Nasa Power	28
3.3 Calibração	29
3.3.1 Métodos de calibração dos dados NASA POWER (Original)	30
3.4 Validação dos métodos	30
3.4.1 Análises estatísticas de desempenho	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Calibração	32
4.2 Validação	36
5 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

O município de Araxá , localizado na região do Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais com bioma do tipo Cerrado, destaca-se por uma economia diversificada que abrange turismo, mineração e agropecuária. No setor agrícola, o município e sua região são reconhecidos pela produção de café, batata, leite, soja e milho, setores que desempenham um papel fundamental na economia local, contribuindo significativamente para o desenvolvimento socioeconômico da área (Santos, 2019).

A variabilidade climática no Cerrado, marcada por secas prolongadas e chuvas irregulares, compromete diretamente a produtividade agrícola. A precipitação, variável fundamental para o crescimento vegetal, quando mal distribuída ou excessiva, pode ocasionar desde estresse hídrico até erosão do solo, afetando negativamente as colheitas (Diniz, 2016).

A temperatura média interfere diretamente no ciclo de desenvolvimento das culturas, influenciando o ritmo de crescimento e os períodos ideais de plantio e colheita. Enquanto espécies como soja e algodão adaptam-se melhor às temperaturas elevadas, culturas como trigo e milho preferem climas mais amenos. Já os extremos térmicos podem gerar estresse nas plantas e comprometer a produção (Diniz, 2016).

Porém, o acesso a dados climáticos seguros não é uma realidade para todas as regiões. A rede de estações meteorológicas dos órgãos governamentais é escassa ou inexistente em várias regiões do Brasil, o que dificulta o monitoramento contínuo das variáveis climáticas. Essa deficiência tem levado à busca por fontes alternativas de dados como os sistemas de reanálise, sendo feita com a reconstrução de dados climáticos passados combinando observações e modelos numéricos para gerar séries temporais consistentes, e o sensoriamento remoto, que oferecem ampla cobertura temporal e espacial, além de acesso gratuito às informações meteorológicas.

Nesse contexto, o sistema meteorológico baseado em satélite *National Aeronautics and Space Administration Prediction of Worldwide Energy Resources* (NASA POWER) tem sido amplamente utilizado para estimar parâmetros climáticos e meteorológicos em diversas aplicações científicas (Rodrigues; Braga, 2021).

Os produtos de reanálise NASA POWER oferecem estimativas de variáveis climáticas como temperatura, precipitação, radiação solar e umidade relativa, com ampla cobertura temporal e espacial. Diversas investigações apontam alta correlação entre os dados do NASA POWER e medições realizadas por estações

meteorológicas, evidenciando a confiabilidade dessa base em diferentes regiões. Em Portugal, por exemplo, Rodrigues e Braga (2021) avaliaram o desempenho dos produtos de reanálise do NASA POWER para estimar a temperatura, a radiação solar e a umidade relativa do ar, concluindo que, embora existam pequenas discrepâncias, os dados corrigidos apresentam uma precisão satisfatória para a utilização em análises climáticas e agrícolas.

No Brasil, a aplicação do NASA POWER foi testada na estimativa do índice de temperatura-umidade (THI), um indicador essencial para a avaliação do estresse térmico em animais de produção. Os resultados obtidos por Carrara *et al.* (2023) demonstraram uma forte correlação entre as estimativas do NASA POWER e os dados registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), reforçando o potencial do sistema como uma ferramenta alternativa para o monitoramento climático no setor agropecuário.

Além do seu uso em escalas regionais, a confiabilidade do NASA POWER tem sido avaliada em estudos sobre mudanças climáticas. Marzouk (2022), analisou tendências da temperatura do ar ao longo de 39 anos na região de Al Buraimi, Omã, com dados históricos do NASA POWER. O estudo indicou um aumento significativo nas temperaturas médias e reforçou a importância da base de dados como uma ferramenta confiável para a análise de tendências climáticas, especialmente em locais com pouca infraestrutura para medições meteorológicas diretas. O autor observou que, com ajustes adequados, o NASA POWER pode ser uma alternativa para a compreensão de variações climáticas e suas consequências socioeconômicas.

Nesse contexto, infere-se que o NASA POWER pode ser uma fonte de dados meteorológicos para diversas aplicações científicas e ambientais sendo, porém, necessários ajustes regionais e a calibração com medições locais podem ser necessários para melhorar a precisão dos resultados. Nesse sentido, as análises e ajustes poderão contribuir para ampliar o uso de ferramentas de reanálise climática em regiões com deficiência de estações meteorológicas, otimizando o planejamento agropecuário local

Este estudo teve como objetivo avaliar a confiabilidade das estimativas de temperatura do ar e precipitação fornecidos pelo NASA POWER, por meio de sua calibração e validação com dados da estação meteorológica do INMET na cidade de Araxá-MG, utilizando três metodologias e três faixas temporais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Clima e agricultura no Brasil

O clima exerce um papel determinante no planejamento e na produtividade agrícola no Brasil. Em um país de dimensões continentais e com significativa variabilidade climática, as variáveis meteorológicas, especialmente a precipitação e a temperatura, são cruciais para orientar práticas agrícolas e garantir a sustentabilidade produtiva (Monteiro *et al.*, 2017; Saldanha *et al.*, 2023; Quansah *et al.*, 2022).

A precipitação define a disponibilidade hídrica para as culturas agrícolas, sendo essencial para processos como germinação, floração e formação dos frutos (Saldanha *et al.*, 2023). A temperatura influencia diretamente o metabolismo das plantas, regulando taxas de fotossíntese, respiração e crescimento (Monteiro *et al.*, 2017; Rodrigues; Braga, 2021). Estudos demonstram que desvios de temperatura para além dos limites ótimos podem acarretar estresse térmico, afetando a produtividade de diversas culturas.

Cultivos como o café, a soja e o milho são particularmente sensíveis às condições climáticas. No café arábica, temperaturas médias anuais superiores a 23 °C, associadas à deficiência hídrica durante o enchimento de frutos, podem ocasionar perdas severas de produtividade, como registrado durante a seca de 2015/2016 no sudeste brasileiro (Monteiro *et al.*, 2017). A soja é altamente dependente da distribuição regular das chuvas durante o florescimento e o enchimento de vagens; déficits hídricos nesses períodos comprometem drasticamente o rendimento (Tayyeh; Mohammed, 2023). No caso do milho, a escassez hídrica e as temperaturas superiores a 32 °C durante o florescimento reduzem a fertilização e a formação de grãos, impactando a produtividade (Rodrigues; Braga, 2021).

A variabilidade climática interanual, frequentemente modulada pelos fenômenos El Niño e La Niña, influencia a distribuição das chuvas e a ocorrência de extremos térmicos no Brasil. Durante eventos de El Niño, é comum haver estiagens no Nordeste e chuvas excessivas no Sul, enquanto La Niña gera o efeito inverso (Quansah *et al.*, 2022). Além disso, as projeções de mudanças climáticas indicam

uma intensificação de eventos extremos, como ondas de calor prolongadas e secas severas, que tendem a afetar negativamente a agricultura (Monteiro *et al.*, 2017).

Pesquisas recentes indicam que, até 2050, poderá haver migração das zonas produtivas de café, soja e milho, além da redução de áreas aptas para o cultivo tradicional (Quansah *et al.*, 2022; Tayyeh; Mohammed, 2023). Esse cenário exigirá a adoção de estratégias adaptativas, como a mudança de cultivares, readequação dos calendários agrícolas e maior eficiência no uso da água.

Diante dessa realidade, a coleta e o monitoramento precisos de dados meteorológicos tornam-se fundamentais. Contudo, a cobertura limitada de estações meteorológicas no Brasil, especialmente em áreas agrícolas remotas, compromete a obtenção de informações locais essenciais para o planejamento agrícola (Saldanha *et al.*, 2023; Rodrigues; Braga, 2021).

Nesse contexto, o uso de dados de reanálises climáticas e sensoriamento remoto, como os disponibilizados pela plataforma NASA POWER, tem se mostrado uma alternativa viável para suprir essas deficiências (Monteiro *et al.*, 2017; Quansah *et al.*, 2022). O estudo do Banco Mundial (2012) analisou as projeções dos impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira, utilizando modelos econômicos para estimar perdas de produtividade.

As simulações indicaram que culturas como a soja, o milho e o café podem sofrer reduções expressivas na produtividade em decorrência do aumento da temperatura e de alterações nos padrões de precipitação, sobretudo nas regiões Nordeste e Centro-Oeste. O trabalho enfatiza a necessidade de adaptação, como mudanças nas práticas agrícolas, diversificação de culturas e desenvolvimento de políticas públicas específicas para mitigar os impactos previstos.

Segundo a *The Nature Conservancy* (2023), o ano de 2023 foi o mais quente registrado desde 1850, intensificando os efeitos das mudanças climáticas na América do Sul, especialmente em países como o Brasil. O fenômeno El Niño exacerbado causou extremos climáticos, como secas prolongadas e chuvas intensas, afetando diretamente a produção agrícola. O artigo ressalta a urgência da implementação de práticas agrícolas sustentáveis, capazes de mitigar os efeitos negativos e tornar a produção mais resiliente às alterações climáticas futuras.

Em artigo publicado na revista *Estudos Avançados da SciELO*, Assad e Pinto (2008) examinaram o impacto das mudanças climáticas na agricultura brasileira, destacando o aumento das temperaturas médias e a redistribuição das chuvas. O

estudo aponta que essas mudanças tendem a afetar negativamente a produtividade de culturas como café, milho, soja e algodão, além de favorecer o surgimento de novas pragas e doenças agrícolas. Os autores defendem a necessidade de adaptação por meio da seleção de cultivares mais resistentes e da readequação de calendários agrícolas.

A CNN Brasil (2023) discutiu os impactos recentes das mudanças climáticas na agricultura, citando eventos extremos como as estiagens prolongadas no Rio Grande do Sul e as chuvas acima da média no Paraná. Esses eventos climáticos resultaram em perdas significativas para culturas como soja e milho, afetando tanto a produção nacional quanto o mercado internacional. O artigo destaca a importância de políticas públicas voltadas à mitigação de riscos e ao apoio técnico aos agricultores frente aos novos padrões climáticos.

2.2 Deficiências na coleta de dados meteorológicos no Brasil cobertura limitada de estações meteorológicas, especialmente em áreas agrícolas.

Diante da crescente demanda por informações climáticas de alta qualidade para subsidiar o planejamento agrícola, a deficiência na coleta de dados meteorológicos no Brasil constitui um dos maiores entraves para o desenvolvimento sustentável do setor agropecuário. A infraestrutura nacional de estações meteorológicas automáticas e convencionais é concentrada nas regiões Sudeste e Sul, deixando vastas áreas produtoras do Centro-Oeste, Norte e Nordeste com cobertura insuficiente (Saldanha *et al.*, 2023; Rodrigues; Braga, 2021).

As estações meteorológicas convencionais, operadas manualmente, realizam leituras de variáveis como temperatura, umidade, precipitação e velocidade do vento em horários fixos, geralmente três vezes ao dia. Apesar de fornecerem dados de alta precisão, estas estações dependem de operadores humanos e, portanto, estão sujeitas a erros de observação e interrupções por questões operacionais (INMET, 2023). Já as estações automáticas realizam medições contínuas e transmitem os dados remotamente, permitindo maior frequência de registros e atualização em tempo real. No entanto, essas estações requerem manutenção constante dos sensores e calibração regular para assegurar a qualidade dos dados (Saldanha *et al.*, 2023).

Dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) indicam que, enquanto estados como São Paulo possuem boa densidade de estações, estados do Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) apresentam grandes vazios observacionais. Essa disparidade compromete a qualidade de previsões climáticas, o monitoramento de estiagens, a modelagem de produtividade agrícola e a gestão dos recursos hídricos (Monteiro *et al.*, 2017).

Lacunas e falhas nos dados do INMET são recorrentes, especialmente em estações automáticas, que frequentemente enfrentam problemas de comunicação, quedas de energia e falhas de sensores. Essas inconsistências afetam a continuidade das séries temporais e dificultam análises de tendências climáticas, calibragem de modelos de simulação e emissão de alertas meteorológicos (Rodrigues; Braga, 2021).

Além da distribuição desigual, a falta de manutenção de estações, falhas de transmissão de dados e desatualização tecnológica também afetam a confiabilidade das informações coletadas. Muitas estações automáticas ainda operam com sensores defasados ou apresentam interrupções frequentes, dificultando a formação de séries temporais consistentes (Saldanha *et al.*, 2023).

Para contornar essas limitações, o uso de dados de sensoriamento remoto e reanálises climáticas tem se mostrado estratégico. A plataforma NASA POWER, por exemplo, fornece estimativas de temperatura, radiação solar, precipitação e outras variáveis meteorológicas com cobertura global e resolução espacial de aproximadamente 0,5° (Quansah *et al.*, 2022).

Estudos de validação apontam que, embora apresente boa correlação para temperatura e radiação, o NASA POWER ainda enfrenta dificuldades em estimar com precisão a precipitação em regiões tropicais, principalmente devido à alta variabilidade espaço-temporal dos eventos de chuva (Tayyeh; Mohammed, 2023).

Outras iniciativas como o projeto MapBiomas Clima e o *Global Precipitation Measurement* (GPM) também têm contribuído para suprir lacunas de dados, possibilitando a integração de informações satelitais com dados de estações terrestres. Entretanto, a literatura é unânime em ressaltar que, para fins de calibração de modelos hidrológicos, previsão de safras e geração de alertas meteorológicos, é imprescindível ampliar a cobertura e a qualidade das redes de observação em superfície (Monteiro *et al.*, 2017; Rodrigues; Braga, 2021).

Soluções emergentes incluem a implantação de redes colaborativas de monitoramento, com estações automáticas de baixo custo operadas por cooperativas, universidades e empresas privadas. Tais iniciativas descentralizadas podem complementar a rede oficial e aumentar a resolução espacial dos dados meteorológicos, desde que sejam acompanhadas de protocolos rigorosos de calibração e validação dos equipamentos.

Portanto, é fundamental que haja investimentos públicos e privados para a expansão e modernização das estações meteorológicas no Brasil, bem como a formação de recursos humanos qualificados para a manutenção e gestão dessas redes. A integração de dados locais com informações de sensoriamento remoto e as reanálises climáticas representam um caminho promissor para fortalecer o sistema de observação meteorológica brasileiro, promovendo a resiliência da agricultura nacional frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

2.3 Fontes alternativas de dados climáticos: reanálises

A crescente demanda por informações meteorológicas de alta resolução espacial e temporal impulsionou o desenvolvimento de fontes alternativas de dados climáticos, entre elas os produtos de reanálise. As reanálises climáticas consistem em conjuntos de dados gerados a partir da combinação de observações meteorológicas de diversas origens (estações terrestres, satélites, boias oceânicas, radiossondagens) com modelos numéricos de previsão do tempo, resultando em séries temporais coerentes e homogêneas para diversas variáveis atmosféricas e de superfície (Ecmwf, 2019).

Dentre os principais produtos de reanálise amplamente utilizados na agricultura destacam-se o ERA5 e ERA5-Land, desenvolvidos pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), e o MERRA-2 (*Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications*), produzido pela NASA. O ERA5 fornece dados climáticos com alta resolução temporal (hora a hora) e espacial (~30 km), cobrindo o período de 1950 até o presente (HERSBACH *et al.*, 2020). Já o ERA5-Land é uma versão refinada para aplicações terrestres, oferecendo informações ainda mais detalhadas (9 km de resolução espacial) (Muñoz-Sabater *et al.*, 2021).

As vantagens das reanálises incluem a cobertura global contínua, a disponibilidade de longas séries temporais, a homogeneidade dos dados e a

frequência de atualizações. Essas características tornam os produtos de reanálise ferramentas essenciais para o monitoramento climático, para a modelagem de culturas agrícolas, para estudos de produtividade e para análises de tendências climáticas (Tayyeh; Mohammed, 2023).

Entretanto, é importante reconhecer as limitações das reanálises. Estudos de validação mostram que, apesar da alta correlação com dados observados para variáveis como temperatura e radiação solar, ainda existem dificuldades para a estimativa precisa de precipitação, especialmente em regiões tropicais, devido à natureza convectiva da chuva e à baixa densidade de observações diretas (Quansah *et al.*, 2022; Saldanha *et al.*, 2023).

Além disso, estudos recentes como o de Cunha Júnior *et al.* (2020) destacam que a calibração regional e a validação contínua das reanálises são essenciais para aplicações locais, sobretudo em modelagem hidrológica e estimativas de produtividade agrícola.

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia das reanálises ERA5 e ERA5-Land em contextos agrícolas no Brasil. A aplicação do ERA5-Land para o zoneamento de risco climático do milho na Bahia revelou alta confiabilidade para variáveis como temperatura e umidade, embora a precipitação tenha apresentado limitações (Lima *et al.*, 2023). Em Pernambuco, análise de dados de temperatura média do ar estimados pelo ERA5-Land mostrou alta concordância com dados observados, com coeficiente de determinação variando entre 0,57 e 0,98 e erro quadrático médio inferior a 0,60 °C (Araújo *et al.*, 2022).

Na região SEALBA (Sergipe, Alagoas e Bahia), o ERA5-Land foi avaliado quanto à precipitação, apresentando correlação moderada com dados observados ($r \approx 0,83$), mas desempenho inferior ao do produto MERGE ($r \approx 0,96$) (Rodrigues *et al.*, 2022). Adicionalmente, foram desenvolvidos conjuntos de estatísticas climáticas municipais para o Brasil utilizando dados do ERA5-Land, possibilitando análises de longo prazo compatíveis com limites administrativos (Saldanha *et al.*, 2023).

Na prática, a utilização de reanálises tem permitido avanços importantes no Brasil e no exterior. A avaliação do potencial eólico em Macaé e Campos dos Goytacazes, por exemplo, demonstrou a viabilidade do uso do ERA5-Land para estimativas preliminares de velocidade do vento, mesmo reconhecendo a tendência de superestimativa em relação a estações automáticas do INMET (Braga; Santos, 2021).

Dessa forma, as reanálises representam uma alternativa estratégica para suprir a deficiência de dados meteorológicos em áreas agrícolas remotas. Embora apresentem limitações inerentes, seu uso integrado com observações *in situ* e técnicas de validação regionais pode ampliar significativamente a capacidade de monitoramento climático e de planejamento agrícola sustentável no Brasil e no mundo.

2.4 A Plataforma NASA POWER

O NASA POWER (*Prediction of Worldwide Energy Resources*) é um projeto desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), iniciado no final dos anos 1990. Seu objetivo é fornecer dados meteorológicos e de energia solar derivados de satélites e reanálises climáticas para apoiar aplicações em energia renovável, agricultura e planejamento urbano (Sotolongo *et al.*, 2019). Originalmente focado em aplicações de energia solar, o projeto expandiu seu escopo para atender também às necessidades de usuários do setor agrícola e ambiental.

A estrutura do projeto NASA POWER baseia-se na integração de dados de diferentes fontes, como sensores a bordo de satélites da série *Earth Observing System* (EOS), informações do modelo *Goddard Earth Observing System* (GEOS) e dados de reanálises como o MERRA-2. O sistema processa essas informações para gerar produtos de fácil acesso via plataformas online, oferecendo aos usuários dados históricos e atualizados para todo o globo (Sotolongo *et al.*, 2019).

As principais variáveis fornecidas pelo NASA POWER incluem temperatura do ar (máxima, mínima e média), precipitação, radiação solar incidente, umidade relativa, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, entre outras. Essas variáveis são essenciais para aplicações que vão desde o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos até o planejamento de safras agrícolas e a modelagem hidrológica (Saldanha *et al.*, 2023).

A resolução espacial dos produtos do NASA POWER é de aproximadamente $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (cerca de 50 km x 50 km na linha do Equador), enquanto a resolução temporal varia de dados diários, mensais até anuais, dependendo da variável e do produto selecionado. Essa resolução permite uma cobertura global contínua, sendo particularmente valiosa em áreas com baixa densidade de estações meteorológicas (Monteiro *et al.*, 2017).

Na agricultura, o NASA POWER tem sido amplamente utilizado para suprir a ausência de dados meteorológicos de superfície em estudos de zoneamento agrícola, análise de risco climático e modelagem de produtividade. Pesquisas como as de Cardozo da Cunha Júnior *et al.* (2020) validaram o uso do NASA POWER no semiárido brasileiro, destacando boa correlação para variáveis de temperatura e radiação solar. Da mesma forma, estudos conduzidos em Vitória da Conquista, na Bahia, confirmaram a viabilidade do uso dos dados do projeto para análise agrometeorológica, ainda que ressaltem a necessidade de cautela quanto às estimativas de precipitação (Barbosa *et al.*, 2021).

No monitoramento climático, o NASA POWER contribui para a geração de séries temporais contínuas e homogêneas, fundamentais para a análise de tendências de temperatura e radiação em cenários de mudanças climáticas. A plataforma também tem sido empregada para estimativas de demanda hídrica de culturas e estudos de variabilidade interanual associados a fenômenos como El Niño e La Niña (Monteiro *et al.*, 2017; Saldanha *et al.*, 2023).

Portanto, a plataforma NASA POWER representa uma fonte estratégica de dados para o planejamento agrícola e o monitoramento climático, especialmente em regiões onde a coleta tradicional de dados meteorológicos é limitada ou inexistente.

No Semiárido brasileiro, um estudo avaliou a acurácia das estimativas de precipitação e temperatura fornecidas pelo NASA POWER em diferentes escalas temporais. Os resultados indicaram que, para a precipitação, o desempenho foi melhor nas escalas mensal e anual, enquanto a estimativa da temperatura do ar apresentou ótimos resultados na escala mensal, embora com tendência à superestimação. Para a escala diária, tanto a precipitação quanto a temperatura apresentaram desempenho satisfatório (Araújo *et al.*, 2022).

Em Paranapuã-SP, a validação dos dados meteorológicos do NASA POWER em comparação com uma estação automática local revelou diferenças no desempenho entre as variáveis. A temperatura mínima e a umidade relativa do ar apresentaram avaliação “ótima”, enquanto a temperatura máxima e a velocidade média do vento foram classificadas como “muito boas”. A precipitação foi avaliada como “boa”, mas a velocidade máxima do vento demonstrou desempenho “ruim”, evidenciando a necessidade de cautela no uso dessas informações para estudos específicos que envolvam vento (Martins Filho *et al.*, 2022).

No Triângulo Mineiro, pesquisadores utilizaram o NASA POWER para calcular o balanço hídrico climatológico, avaliando excedente e déficit de água no solo. A calibração dos dados da plataforma revelou alta correlação (superior a 0,90) entre os valores observados e estimados para ambas as variáveis. Os resultados indicam que o NASA POWER é uma ferramenta confiável para análises hidrológicas regionais, especialmente para áreas com deficiência de estações meteorológicas (Ferreira *et al.*, 2024).

Fora do Brasil, em Portugal, uma avaliação do NASA POWER no Alentejo mostrou alta concordância entre os dados da plataforma e observações locais para variáveis como temperatura máxima e mínima, radiação solar e umidade relativa. A única exceção foi a velocidade do vento, que apresentou maior discrepância, o que já é relatado em outros estudos de validação. O desempenho geral confirmou a aplicabilidade do NASA POWER para fins agrícolas e ambientais na região sul de Portugal (Gonçalves *et al.*, 2021).

Nos Estados Unidos, um estudo focado no estado da Geórgia avaliou o uso do NASA POWER para prever a maturidade de amendoins. Comparando os dados da plataforma com informações de estações meteorológicas, os pesquisadores encontraram forte correlação para as variáveis de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e radiação solar, associadas a baixos erros de estimativa. Isso demonstra a utilidade da plataforma em apoiar decisões agrícolas em regiões de clima subtropical (Barboza *et al.*, 2024).

No Irã, o produto de precipitação do NASA POWER foi utilizado para monitorar características de seca meteorológica em diversas regiões do país. A análise mostrou que, apesar de pequenas discrepâncias em eventos extremos de precipitação, o NASA POWER conseguiu representar adequadamente padrões de seca espacialmente distribuídos. Isso indica que a plataforma é uma alternativa viável para monitoramento de secas em áreas áridas e semiáridas que carecem de estações pluviométricas (Kheyruri *et al.*, 2023).

Na Turquia, um estudo validou dados do NASA POWER comparando-os com registros de estações locais em regiões de clima mediterrâneo e continental. A pesquisa mostrou correlações muito altas (R^2 superiores a 0,91) para temperaturas máxima, mínima e média. A umidade relativa também apresentou bom desempenho em áreas de maior altitude. Por outro lado, a velocidade do vento necessitou de ajustes para melhorar sua acurácia. Esses resultados reforçam o potencial do NASA

POWER como fonte confiável para suporte a estudos agroclimáticos em diferentes regiões climáticas (Halimi *et al.*, 2022).

Na Malásia, o NASA POWER foi utilizado para prever a vazão superficial na bacia do rio Kelantan, uma área sujeita a inundações tropicais intensas. Comparando-se os dados de precipitação do NASA POWER com registros de 19 estações pluviométricas, os resultados mostraram que a plataforma é capaz de fornecer estimativas consistentes, especialmente para médias mensais. Esse estudo reforçou o valor do NASA POWER em ambientes tropicais para aplicações em hidrologia e planejamento de recursos hídricos (Tan *et al.*, 2023).

2.5 Métodos de calibração e validação de dados climáticos regressão linear simples e com intercepto fixo

A calibração e validação de dados climáticos provenientes de reanálises e satélites são etapas fundamentais para assegurar a confiabilidade e a aplicabilidade desses dados em estudos agrícolas e ambientais. Em regiões com escassez de estações meteorológicas, métodos estatísticos como a regressão linear simples e a regressão linear com intercepto fixo são amplamente empregados para comparar dados observados em superfície com estimativas fornecidas por plataformas como o NASA POWER, ERA5 e ERA5-Land (Rodrigues; Braga, 2021; Saldanha *et al.*, 2023).

A regressão linear simples é utilizada para avaliar a relação entre duas variáveis contínuas, modelando a variável dependente (dados observados) como função linear da variável independente (dados estimados). Essa técnica permite quantificar o grau de associação entre os conjuntos de dados, sendo os principais parâmetros analisados o coeficiente de determinação (R^2), o erro quadrático médio (RMSE) e a inclinação da reta de regressão. Diversos estudos, como o realizado em Paranapuã-SP, aplicaram a regressão linear simples para validar variáveis como temperatura, umidade relativa e precipitação, obtendo classificações que variaram de "ótimo" a "bom", dependendo da variável analisada (Saldanha *et al.*, 2023).

A regressão com intercepto fixo, ou regressão através da origem, é uma variação em que a linha de ajuste é forçada a passar pela origem do sistema de coordenadas (ponto [0,0]). Essa abordagem é recomendada em situações onde se assume que a ausência de um fenômeno na variável independente implica necessariamente na ausência na variável dependente, como no caso de medições de

precipitação. Estudos no Semiárido brasileiro (Correia, 2022) e no Triângulo Mineiro (Ferreira *et al.*, 2024) aplicaram a regressão com intercepto fixo para calibrar dados de precipitação do NASA POWER, obtendo boas correlações, embora reconhecendo tendência à superestimação em eventos intensos.

A aplicação da regressão linear também foi fundamental em validações internacionais. Na região do Alentejo, em Portugal, a comparação entre dados observados e estimados pelo NASA POWER para variáveis como temperatura e radiação solar mostrou coeficientes de determinação superiores a 0,82 após correção de viés, utilizando modelos de regressão linear (RODRIGUES; BRAGA, 2021). Na Turquia, a calibração de temperaturas e umidades relativas provenientes do NASA POWER contra dados de superfície indicou R^2 superiores a 0,91, evidenciando a robustez da metodologia mesmo em contextos climáticos variados (Halimi *et al.*, 2022).

Dessa forma, a regressão linear simples e a regressão com intercepto fixo como métodos estatísticos indispensáveis para a calibração e validação de dados climáticos de reanálises. Sua correta aplicação permite não apenas quantificar o grau de concordância entre dados estimados e observados, mas também realizar ajustes e correções que ampliam a confiabilidade dos produtos utilizados em aplicações agrícolas, hidrológicas e de monitoramento climático (Correia., 2022; Tan *et al.*, 2023).

No Semiárido brasileiro, Correia *et al.* (2022) avaliaram o desempenho do NASA POWER na estimativa de precipitação pluvial e temperatura do ar em escalas diária, mensal e anual. Utilizando regressão linear simples, observaram boa correlação para as estimativas de temperatura do ar, especialmente em escala mensal, com tendência de superestimação. Para os dados de precipitação, a regressão linear com intercepto fixo foi aplicada para corrigir a superestimação observada, permitindo ajustes que melhoraram o desempenho da plataforma em estimativas mensais e anuais.

Em Paranapuã-SP, Martins Filho, Rodrigues e Hernandez (2022) validaram dados meteorológicos diários do NASA POWER frente a uma estação automática local. A metodologia envolveu a aplicação de regressão linear simples para as variáveis temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, precipitação e velocidade do vento. Os dados de temperatura mínima e umidade relativa apresentaram desempenho classificado como “ótimo”, enquanto a temperatura máxima e a velocidade média do vento foram consideradas “muito boas”. A

precipitação obteve avaliação “boa”, enquanto a velocidade máxima do vento apresentou desempenho inferior.

No Triângulo Mineiro, Ferreira *et al.* (2024) utilizaram o NASA POWER para estudos de balanço hídrico climatológico, comparando excedentes e déficits hídricos calculados a partir dos dados da plataforma e de observações locais. A regressão linear com intercepto fixo foi fundamental para ajustar as estimativas de precipitação, com coeficientes de correlação superiores a 0,90 entre dados observados e estimados. Essa calibração foi essencial para garantir a aplicabilidade dos dados do NASA POWER em modelos hidrológicos regionais.

No sul de Portugal, Rodrigues e Braga (2021) aplicaram a regressão linear simples para avaliar a performance do NASA POWER em relação a dados de 14 estações meteorológicas no Alentejo. As variáveis temperatura máxima, temperatura mínima e radiação solar apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,82, demonstrando alta confiabilidade após correções de viés. O estudo reforçou a viabilidade do uso do NASA POWER para aplicações agrícolas em climas mediterrâneos.

Na Turquia, Halimi, Karaca e Büyüktaş (2022) também utilizaram a regressão linear simples para validar os dados do NASA POWER em regiões mediterrâneas e continentais. Temperaturas máximas, mínimas e médias mostraram correlações muito elevadas com os dados observados ($R^2 > 0,91$). A umidade relativa apresentou bom desempenho em áreas de maior altitude, embora a variável velocidade do vento tenha requerido ajustes. O estudo destacou a importância da calibração estatística para melhorar a precisão dos produtos de reanálise em diferentes regimes climáticos.

2.6 Aplicações agrometeorologias dos dados calibrados

A calibração e validação de dados climáticos permitem a utilização segura desses dados em aplicações agrometeorológicas estratégicas para o planejamento agrícola e a mitigação dos efeitos adversos das mudanças climáticas. Dados calibrados provenientes de plataformas como o NASA POWER e o ERA5-Land têm sido amplamente utilizados em balanços hídricos, simulações de produtividade agrícola, zoneamentos agroclimáticos e estudos de risco climático, fornecendo suporte técnico para decisões agronômicas e políticas públicas (Saldanha *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2024).

O balanço hídrico climatológico, que quantifica o excedente e o déficit de água no solo, é uma das aplicações mais tradicionais dos dados climáticos calibrados. Ferreira *et al.* (2024) demonstraram o uso eficaz do NASA POWER para estimar o balanço hídrico na região do Triângulo Mineiro, ajustando os dados de precipitação com regressão com intercepto fixo. Esses estudos permitem avaliar a disponibilidade hídrica para as culturas, orientar a adoção de práticas de irrigação e planejar a época de semeadura.

Na simulação de produtividade agrícola e no zoneamento agroclimático, dados calibrados desempenham papel essencial para a definição de áreas aptas ao cultivo de determinadas culturas. Lima *et al.* (2023) utilizaram dados do ERA5-Land no zoneamento de risco climático para o milho no estado da Bahia, destacando a necessidade de calibração regional para maior acurácia nas estimativas de produtividade. Tais aplicações são fundamentais para a redução de perdas agrícolas e a maximização do aproveitamento do potencial produtivo das regiões.

A avaliação da evapotranspiração, elemento-chave no manejo da água na agricultura, é outra aplicação importante dos dados calibrados. Métodos baseados na equação de Penman-Monteith, recomendados pela FAO (Allen *et al.*, 1998), dependem de variáveis como temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento — todas disponíveis em plataformas como NASA POWER e ERA5. Pesquisas, como as realizadas por Correia *et al.* (2022), validaram a utilização de dados do NASA POWER para estimativas de evapotranspiração no semiárido brasileiro, evidenciando o valor da calibração para a gestão racional dos recursos hídricos.

Dados climáticos calibrados têm sido amplamente aplicados em estudos de risco climático e na formulação de estratégias de adaptação às mudanças climáticas. Assad e Pinto (2008) ressaltam que o aumento das temperaturas e a alteração dos padrões de precipitação exigem adaptações como o desenvolvimento de cultivares mais resistentes, mudanças nos calendários agrícolas e a expansão de sistemas de irrigação. A integração de dados calibrados permite modelar cenários futuros e propor medidas preventivas para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção agrícola frente aos desafios climáticos.

O aprimoramento do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a soja em Mato Grosso do Sul demonstrou a importância da utilização de dados climáticos calibrados. Utilizando o modelo Sarra, que simula o balanço hídrico da

cultura, o estudo incorporou novos coeficientes de cultura (K_c) e expandiu a rede de dados meteorológicos de 53 para 190 localidades. Como resultado, observou-se uma redução no risco climático para a soja, principalmente na região Sul do estado, independentemente da época de semeadura (Comunello, 2016).

Avaliando-se os impactos futuros das mudanças climáticas sobre o risco climático para a cultura da soja, outro estudo aplicou o protocolo do ZARC para diferentes cenários climáticos. As simulações indicaram que, no futuro, haverá aumento significativo nos níveis de risco para o cultivo da soja em várias regiões brasileiras, o que pode inviabilizar o cultivo em algumas áreas tradicionais. O estudo reforça a necessidade da atualização contínua dos parâmetros utilizados no ZARC como estratégia de adaptação às novas condições climáticas (Oliveira, 2020).

No Cerrado brasileiro, pesquisas analisaram os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade de água no solo para cultivos de soja e milho em sucessão. Considerando-se cenários de aumento de temperatura e redução de precipitação, foi evidenciado que a disponibilidade hídrica poderá ser comprometida, afetando negativamente a produtividade. O balanço hídrico, utilizado no estudo, reforçou a necessidade de escolha de culturas mais adaptadas ao novo regime climático para mitigar perdas agrícolas (Campos *et al.*, 2024).

As pesquisas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) também evidenciam o papel central da agrometeorologia no suporte às práticas agrícolas sustentáveis. O instituto tem contribuído para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento, alertas climáticos e zoneamentos agrícolas que são fundamentais para a adaptação da agricultura às variabilidades e mudanças climáticas. A experiência do IAPAR demonstra que dados calibrados e validados são a base para o sucesso das políticas públicas voltadas para o setor agrícola (Wrege *et al.*, 2012).

Outro exemplo de aplicação de dados calibrados em agrometeorologia é o zoneamento de risco climático para a cultura da mangueira no estado do Piauí. O estudo identificou as regiões mais favoráveis para o cultivo da mangueira com base em dados históricos e modelagem agrometeorológica, permitindo a redução de riscos e o planejamento adequado da atividade agrícola no estado (Portela *et al.*, 2008).

Assim, o uso de dados climáticos devidamente calibrados não apenas aprimora de forma significativa a precisão das análises agrometeorológicas, permitindo diagnósticos mais confiáveis e projeções mais assertivas, mas também amplia a capacidade de identificar padrões sazonais, anomalias e tendências de longo prazo

que impactam diretamente os sistemas produtivos agrícolas. Essas informações mais refinadas fornecem subsídios técnicos para decisões estratégicas no campo, como o planejamento de safras, a escolha de cultivares adaptadas e a definição de períodos ideais de plantio e colheita.

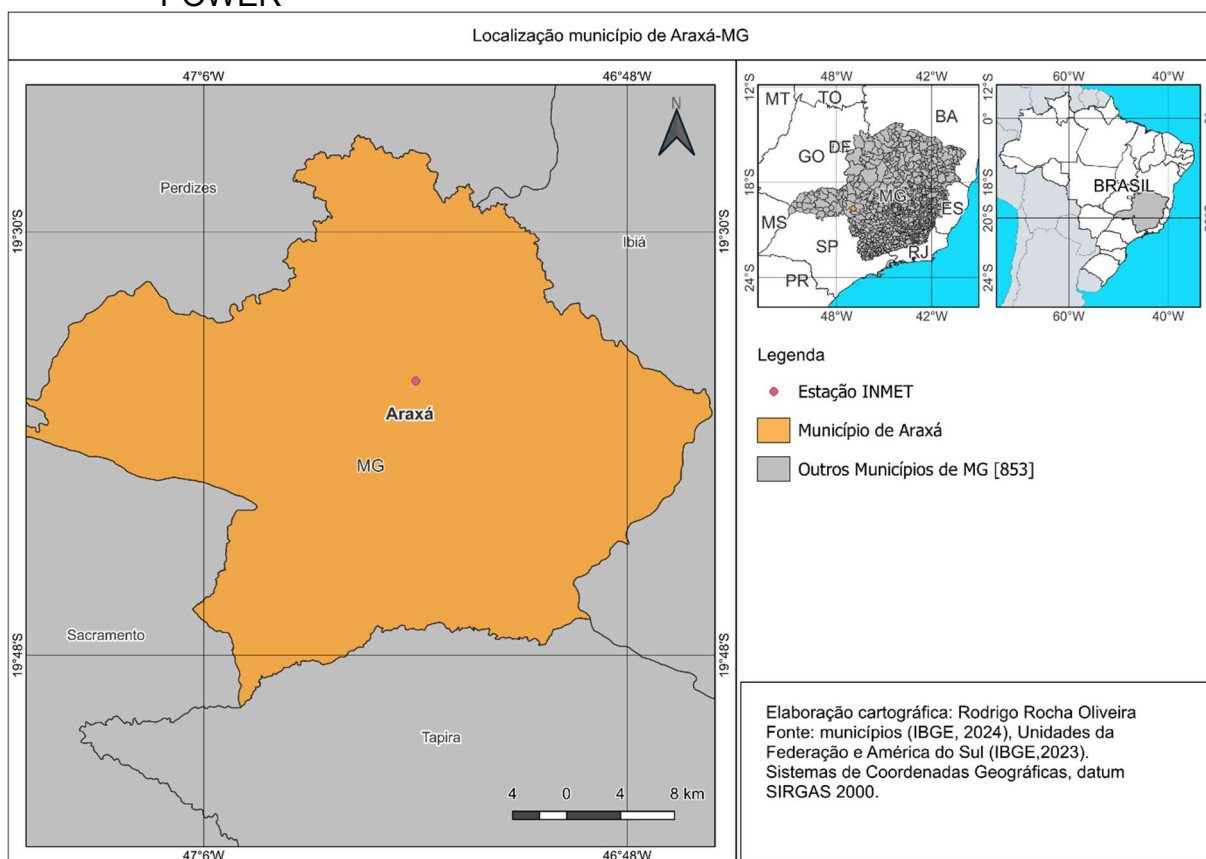
Além disso, a disponibilidade de dados calibrados contribui para a formulação de políticas públicas mais eficazes, voltadas à mitigação dos efeitos de eventos extremos e à adaptação frente às mudanças climáticas. Dessa forma, esse recurso se torna não apenas um suporte à produtividade e à eficiência, mas também um instrumento indispensável para fortalecer a resiliência agrícola e aprimorar a gestão de riscos climáticos no Brasil e em diversas regiões do mundo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado para o município de Araxá, Minas Gerais, localizada na região do Alto Paranaíba, Cerrado Mineiro. O município possui uma Estação Climatológica Principal (ECP) em operação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada nas coordenadas geográficas $19^{\circ}36'20,47''\text{S}$, $46^{\circ}56'59,03''\text{W}$ e altitude 1.018,3 m. O município possui uma área territorial de 1.164,062 km². A área atendida pela grade espacial do projeto NASA POWER para a localização foi de 2.918 km².

Figura 1 - Mapa de localização de Araxá-MG com estações INMET e grade NASA POWER



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.2 Dados utilizados

Foram coletados dados mensais de temperatura e precipitação a partir de janeiro de 1981 até dezembro de 2020, totalizando um período de 40 anos, referente à localização geográfica da estação de superfície do INMET na cidade de Araxá-MG. Os dados da estação meteorológica do INMET foram considerados como referência, enquanto os dados do NASA POWER foram utilizados como fonte alternativa de informações meteorológicas. Da série histórica de 40 anos, 30 anos foram utilizados para calibração e 10 anos para a validação de três formas distintas de combinação dos períodos (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição das formas de combinação de períodos

Forma	Período de calibração	Período de validação
1°	1981 a 2010 (30 anos)	2011 a 2020 (10 anos)
2°	1981-1995 e 2006-2020 (30 anos)	1996-2005 (10 anos)
3°	1986-2015 (30 anos)	1981-1985 e 2016-2020 (10 anos)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.2.1 Dados meteorológicos do INMET

As estações meteorológicas automáticas do INMET coletam informações a cada hora, enquanto as estações convencionais fazem isso três vezes ao dia. Esses dados são recebidos, analisados e encaminhados para a sede em Brasília-DF, que os armazena em um banco de dados oficial, realiza o processamento necessário e os transmite via satélite para diversas partes do mundo (Inmet, 2025). O banco de dados do INMET utilizado neste estudo foi de uma estação convencional (Inmet, 2025).

3.2.2 Dados meteorológicos do sistema Nasa Power

O Projeto POWER teve seu início em 2003, surgindo como uma extensão do projeto *Surface Meteorology and Solar Energy* (SSE). Com objetivo de fornecer informações meteorológicas para uso em arquitetura, geração de energia e agrometeorologia. A geração dos produtos finais fornecidos pelo projeto NASA POWER é baseada em modelos de assimilação do Escritório Global de Modelagem e

Assimilação (GMAO) na Análise Retrospectiva da Era Moderna para Pesquisa e Aplicações (MERRA-2) e o *Global Model and Assimilation Office* (GEOS-4). Os dados do MERRA-2 abrangem o período de 1981 até vários meses em tempo real, sendo que a grade de resolução de saída dos dados meteorológicos é de 0,5° de latitude por 0,5° de longitude (Nasa Power, 2025).

O maior número de falhas foi observado para a variável temperatura na estação INMET para os anos de 1985, 2018, 2019 e 2020, conforme a Tabela 2. Os dados fornecidos pelo NASA POWER não apresentaram lacunas em nenhuma variável. Para que não ocorresse influência na comparação com os registros mensais NASA POWER, onde ocorreram falhas de registro de dados da estação de solo INMET, foram retirados os dados equivalentes a mesma data do NASA POWER, para as fases de calibração e validação.

Tabela 2 - Duração da série histórica, número de registros válidos e falhas nos dados de temperatura e precipitação da estação INMET e da plataforma NASA POWER (Araxá-MG, 1981–2020)

Temperatura (°C)		
Série histórica temperatura	Nº registros válidos ¹	Nº de falhas ²
1981 a 2020 - INMET	412	68
1981 A 2020 – NASA POWER	480	0
Precipitação (mm)		
Série histórica precipitação	Nº registros válidos ¹	Nº de falhas ²
1981 a 2020 - INMET	465	15
1981 A 2020 – NASA POWER	480	0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Legenda: ¹Registros válidos: Número total de meses com dados disponíveis na série histórica (40 anos × 12 meses = 480). ². Falhas: Dados ausentes ou inconsistentes

3.3 Calibração

A avaliação do desempenho de três diferentes conjuntos de dados climáticos para os modelos analisados – “Original”, “1.0” e “2.0” – foi realizada com base em indicadores estatísticos de acurácia e correlação aplicados às variáveis de temperatura média mensal (°C) e precipitação total mensal (mm). A análise foi feita para três períodos distintos: 1981-2010, 1981-1995 e 2006-2020, e 1986-2015, permitindo uma comparação temporal e metodológica entre os modelos. Durante a

fase de calibração o modelo '3.0' foi deixado à parte das análises com estatística descritiva, tendo em vista que o seu número de observações é muito menor que os demais modelos, devido ao agrupamento mensal, e essa redução no número de observações causaria uma piora nos índices relacionada ao número de observações e não ao próprio modelo '3.0'.

3.3.1 Métodos de calibração dos dados NASA POWER (Original)

Para ajustar os dados da NASA POWER e torná-los mais representativos em relação aos dados observados do INMET, eles foram calibrados utilizando três métodos:

1º Método - Regressão linear sem interseção definida em escala mensal (1.0).

Aplicação de regressão linear simples entre os valores do INMET e do NASA POWER, sem restrições à interseção da linha de tendência.

2º Método - Regressão linear com interseção fixa na origem (0x, 0y) em escala mensal (2.0).

Ajuste da regressão linear entre os valores do INMET e do NASA POWER, impondo a restrição de que a linha de tendência passe pela origem do gráfico.

3º Método - Regressão linear com interseção fixa na origem em escala mensal (3.0).

Aplicação de regressão linear simples entre os valores do INMET e do NASA POWER (caso da variável precipitação), com ajuste específico para cada mês do ano, considerando que os desvios podem ser sazonais. Para isso, foram calculados fatores de correção individuais para cada mês (janeiro: fator *a* fevereiro: fator *b*, março: fator *c*, assim por diante), buscando minimizar as diferenças sazonais entre os conjuntos de dados.

3.4 Validação dos métodos

Para verificar a eficácia dos métodos de ajuste, as equações encontradas na calibração foram validadas utilizando-se os dados observados pelo INMET e pelo NASA POWER conforme as três formas distintas de combinação (além da original), gerando três conjuntos de dados simulados ((2011 a 2020, (1996-2005 - 1981-1985) e (2016-2020)), para cada forma de combinação do período: 'original', '1.0', '2.0' e '3.0'.

3.4.1 Análises estatísticas de desempenho

Para avaliar a eficácia dos métodos de ajuste, foram calculadas as seguintes estatísticas: (i) Percentual de viés (PBIAS) mede o viés médio entre os valores simulados e observados, indicando a tendência sistemática do modelo.

$$\text{PBIAS} = [(\sum(S_i - O_i)) / (\sum O_i)] \times 100$$

Em que: S_i = valor simulado; O_i = valor observado; n = número de observações.

(ii) Raiz do erro quadrático médio (RMSD) expressa a magnitude média dos erros entre valores simulados e observados.

$$\text{RMSD} = \sqrt{[\sum(S_i - O_i)^2 / n]}$$

Em que, S_i = valor simulado; O_i = valor observado; n = número de observações.

(iii) Erro relativo (ER) representa a razão entre o erro médio e a média dos valores observados, em termos percentuais.

$$\text{ER} = [1/n \times \sum|S_i - O_i| / O_i] \times 100$$

Em que, S_i = valor simulado; O_i = valor observado; n = número de observações.

(iv) Erro absoluto médio (EA) indica a média das diferenças absolutas entre os valores simulados e observados.

$$\text{EA} = [1/n \times \sum|S_i - O_i|]$$

Em que, S_i = valor simulado; O_i = valor observado; n = número de observações.

(v) Coeficiente de correlação linear (r) mede a força e a direção da relação linear entre os valores simulados e observados.

$$r = \sum((O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})) / \sqrt{[\sum(O_i - \bar{O})^2 \times \sum(S_i - \bar{S})^2]}$$

Em que, S_i = valor simulado; O_i = valor observado; \bar{S} = média dos valores simulados; \bar{O} = média dos valores observados; n = número de observações.

(vi) Coeficiente de determinação (r^2) representa a proporção da variância nos dados observados que é explicada pelos dados simulados.

$$r^2 = r^2$$

Em que: r = coeficiente de correlação linear.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro período (1981–2010), os resultados para a temperatura indicam uma leve subestimação por parte do modelo “Original”, com um PBIAS de -2,25%. Os modelos ajustados (“1.0” e “2.0”) (Tabela 3), por sua vez, apresentaram desempenhos mais equilibrados, com valores de PBIAS muito próximos de zero (0,22% e 0,14%, respectivamente), demonstrando maior aderência às observações. Quanto à precisão dos dados, os valores de RMSD e EA confirmam o melhor desempenho dos modelos ajustados: ambos apresentaram menores desvios (RMSD de 0,60 e 0,81 para “1.0” e “2.0”, contra 0,94 do original), refletindo simulações mais próximas dos dados observados. O erro relativo (ER) também foi menor nos modelos ajustados, evidenciando sua eficiência. As métricas de correlação (r e r^2) mostraram-se consistentes entre os três conjuntos, com valores elevados ($r \approx 0,93$ e $r^2 \approx 0,86$), indicando forte correlação entre os dados simulados e os observados.

4.1 Calibração

Tabela 3 - Avaliação da calibração para as variáveis temperatura e precipitação mensais, de três diferentes conjuntos de dados climáticos (1981 a 2010, 1981 a 1995 e 2006 a 2020 e 1986 a 2015) para os três modelos analisados (original, 1.0 e 2.0), Araxá-MG, 2025

Período analisado: 1981 a 2010			
Temperatura (°C mês ⁻¹)			
	Modelo Original	Modelo 1.0	Modelo 2.0
PBIAS (%)	-2,25	0,22	0,14
RMSD (°C mês ⁻¹)	0,94	0,60	0,81
EA (°C mês ⁻¹)	0,87	0,55	0,75
ER (%)	4,20	2,59	3,54
r^2	0,86	0,86	0,86
r	0,93	0,93	0,93
Precipitação (mm mês ⁻¹)			
	Modelo Original	Modelo 1.0	Modelo 2.0
PBIAS (%)	0,48	1,98	2,39

RMSD (mm mês ⁻¹)	26,65	27,18	27,15
EA	28,45	27,80	27,72
ER	23,86	22,64	22,35
r ²	0,90	0,90	0,95
r	0,95	0,95	0,97

Períodos analisados: 1981 a 1995 e 2006 a 2020

Temperatura (°C mês⁻¹)

	Modelo Original	Modelo 1.0	Modelo 2.0
PBIAS (%)	-2,12	-0,04	-0,48
RMSD (C mês ⁻¹)	0,87	0,52	0,72
EA (C mês ⁻¹)	0,85	0,51	0,72
ER (%)	4,15	2,41	3,41
r ²	0,87	0,89	0,99
r	0,93	0,94	0,99

Precipitação (mm mês⁻¹)

	Modelo Original	Modelo 1.0	Modelo 2.0
PBIAS (%)	-0,69	4,10	3,77
RMSD (mm mês ⁻¹)	33,26	34,08	34,09
EA (mm mês ⁻¹)	28,22	22,53	26,29
ER (%)	23,77	21,66	20,38
r ²	0,88	0,88	0,99
r	0,94	0,94	0,99

Período analisado: 1986 a 2015

Temperatura (°C mês⁻¹)

	Modelo Original	Modelo 1.0	Modelo 2.0
PBIAS (%)	-1,85	0,03	-1,45
RMSD (C mês ⁻¹)	0,84	0,50	0,38
EA (C mês ⁻¹)	0,85	0,50	0,72
ER (%)	4,11	2,37	3,41
r ²	0,87	0,87	0,99
r	0,93	0,93	0,93

Precipitação (mm mês⁻¹)

	Modelo Original	Modelo 1.0	Modelo 2.0
--	-----------------	------------	------------

PBIAS (%)	-1,60	-3,12	3,48
RMSD (mm mês ⁻¹)	31,53	43,51	31,29
EA (mm mês ⁻¹)	27,08	30,85	26,38
ER (%)	22,64	25,02	20,45
r ²	0,90	0,90	0,90
r	0,95	0,95	0,95

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Legenda: PBIAS (%): Indica o viés percentual médio entre os valores simulados e observados. RMSD (Root Mean Square Deviation): Representa a raiz quadrada média das diferenças ao quadrado entre valores simulados e observados. MAE (Erro Absoluto): Mede a média das diferenças absolutas entre os valores simulados e observados. ER (Erro Relativo), expressa o erro absoluto em termos percentuais em relação aos valores observados. r² (Coeficiente de Determinação): Indica a proporção da variância nos dados observados que é explicada pelo modelo. r (Coeficiente de Correlação de Pearson): Mede a força e a direção da relação linear entre variáveis simuladas e observadas.

Esses achados são coerentes com os estudos de Carrara *et al.* (2023) e Martin Filho *et al.* (2022), que relataram alta correlação para temperatura mínima ($r > 0,9$) ao compararem dados da NASA POWER com observações de campo. Resultados similares também foram encontrados por Tayyeh & Mohammed (2023) e Halimi *et al.* (2023), reforçando a estabilidade dos índices estatísticos em diferentes contextos climáticos.

Para a precipitação, o desempenho geral dos modelos também foi satisfatório, tendo em vista os valores de r e r^2 (Al-Kilani *et al.*, 2021, Halimi *et al.*, 2023, Rodrigues; Braga, 2021). O modelo original teve viés praticamente neutro (0,48%), e os modelos “1.0” e “2.0” apresentaram leve superestimação (1,98% e 2,39%, respectivamente). O desempenho no desvio e erro absoluto (RMSD e EA) foi relativamente semelhante entre os conjuntos, mas a versão “2.0” apresentou o melhor índice de correlação ($r = 0,97$, $r^2 = 0,95$), destacando-se por sua alta capacidade preditiva. Essa tendência também foi evidenciada por Al-Kilani *et al.* (2021) e Kheyri *et al.* (2023), que validaram estimativas de precipitação da NASA POWER com bons índices de correlação (Saldanha *et al.*, 2023, Quansah *et al.*, 2022), embora tenha sido recomendado calibração regional.

Esse período, que exclui os anos intermediários da série histórica, revelou uma performance ainda mais robusta dos modelos ajustados, principalmente para a temperatura. O modelo “1.0” mostrou um PBIAS praticamente nulo (-0,04%), enquanto o “2.0” manteve viés reduzido (-0,48%). Ambos os modelos apresentaram valores inferiores de RMSD e EA em relação ao modelo original, com destaque para o “1.0”,

que apresentou os menores erros absolutos. O modelo “2.0” apresentou uma correlação notavelmente elevada, com r^2 e r de 0,99, o que indica uma altíssima fidelidade na reprodução dos dados observados – quase perfeita. Isso confirma o avanço da calibração dos dados nesse período.

Para a precipitação, embora o modelo “1.0” tenha superestimado os valores (PBIAS de 4,10%), o modelo “2.0” apresentou um resultado mais balanceado (3,77%). Em termos de erro absoluto, o “1.0” se destacou com o menor valor de EA (22,53), indicando uma menor dispersão dos dados simulados. O erro relativo também foi mais baixo no “2.0” (20,38%), o que sugere um bom equilíbrio entre precisão e estabilidade. A correlação foi novamente alta no “2.0”, com r e r^2 em 0,99, o que reforça sua confiabilidade para simulação da precipitação. Essa constatação encontra respaldo em estudos como o de Darman *et al.* (2024), que demonstraram boa aderência estatística em regiões tropicais com métodos de calibração semelhantes.

No último recorte temporal analisado (1986 a 2015), os padrões observados se repetem, com destaque para o excelente desempenho do modelo “2.0” na estimativa da temperatura. Embora o modelo original tenha apresentado um leve viés de -1,85%, o modelo “1.0” foi praticamente isento de viés (0,03%), e o “2.0” apresentou pequena subestimação (-1,45%). O modelo “2.0” também se destacou por apresentar o menor valor de RMSD (0,38 °C) e erro absoluto (EA de 0,72), o que reflete sua maior precisão na simulação mensal da temperatura. O coeficiente de correlação r^2 foi de 0,99 para o “2.0”, novamente indicando alta confiabilidade, em contraste com os valores de 0,87 observados nos modelos anteriores. Resultados similares foram reportados por Rockett *et al.* (2023) e Monteiro *et al.* (2017), que encontraram alta fidelidade em simulações térmicas com base nos dados da NASA POWER.

Para a precipitação, os resultados foram mais variados. O modelo original teve um viés de -1,60%, enquanto o modelo “1.0” acentuou esse viés negativo (-3,12%). O modelo “2.0”, por outro lado, apresentou um viés positivo de 3,48%, mostrando tendência à superestimação, porém com melhor desempenho nos erros absolutos (EA de 26,38 mm) e erro relativo (ER de 20,45%). Em termos de correlação, todos os modelos mantiveram valores elevados ($r = 0,95$; $r^2 = 0,90$), demonstrando consistência nos resultados, embora o modelo “2.0” continue se destacando por combinar precisão com estabilidade.

Ao longo dos três períodos analisados, fica evidente que os modelos ajustados – especialmente o “2.0” – apresentaram desempenho superior tanto para temperatura

quanto para precipitação. A versão “2.0” destacou-se particularmente pelos baixos valores de erro e alta correlação com os dados observados, sendo a mais recomendada para uso em estudos climáticos e modelagens futuras. Para a variável temperatura, o período 1986–2015 teve o menor RMSD (0,38) e manteve alta correlação ($r^2 = 0,99$), sendo o mais preciso. Já para o período 1981–1995 e 2006–2020 teve correlação quase perfeita ($r = 0,99$), e ótimos resultados, ou seja: ambos são confiáveis, com leve vantagem para 1986–2015 em termos de erro. Em relação à precipitação, o período 1981–1995 e 2006–2020 se destacou com maior correlação ($r = 0,99$), menor erro relativo (ER = 20,38%) e menor EA (26,29 mm). De modo geral, o modelo ‘2.0’ apresentou o melhor desempenho para ambas as variáveis, especialmente nos períodos 1986–2015 (temperatura) e 1981–1995 e 2006–2020 (precipitação), consolidando-se como o mais confiável para futuras aplicações climáticas na região de Araxá.

4.2 Validação

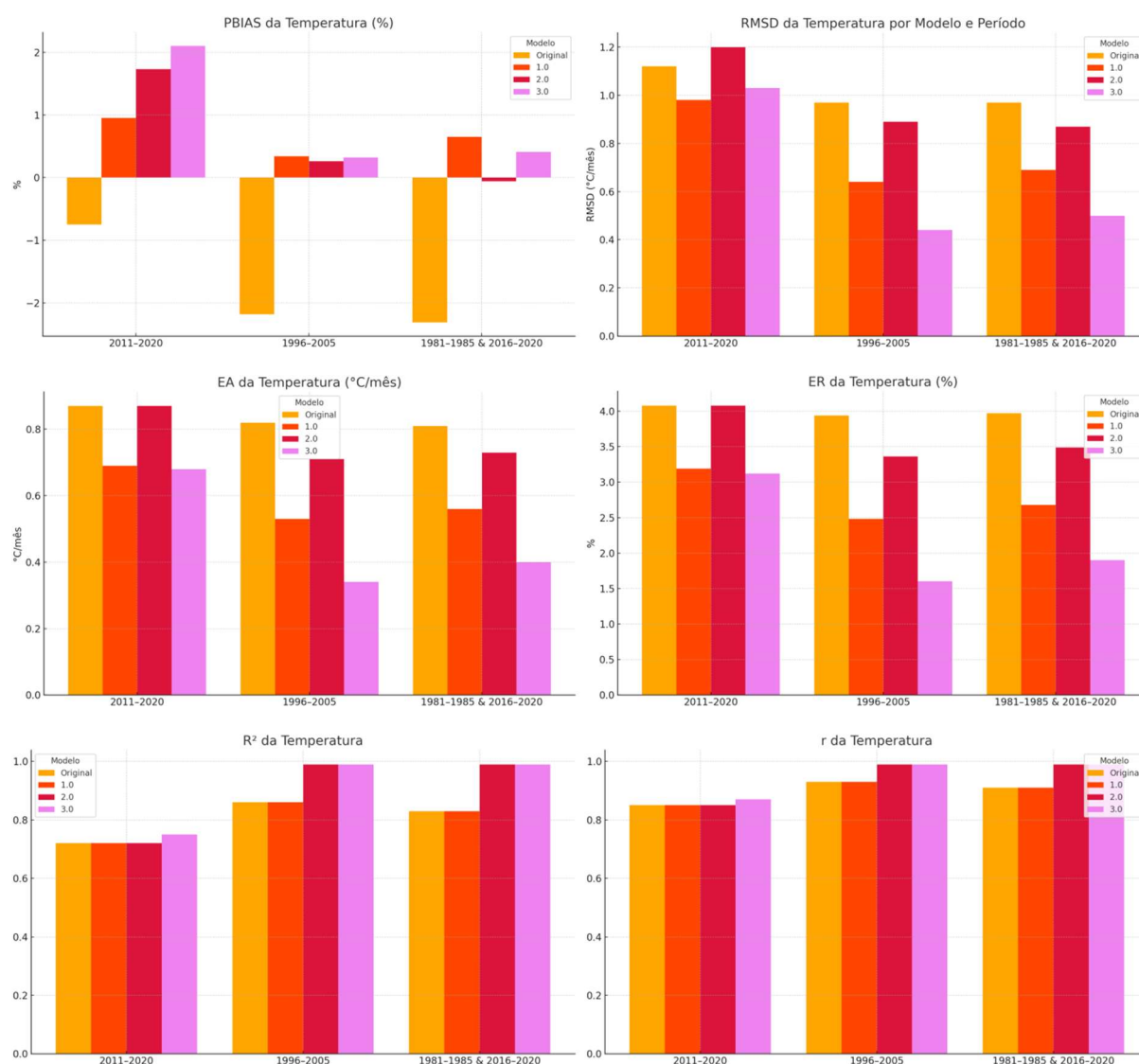
A validação dos modelos climáticos ‘Original’, ‘1.0’, ‘2.0’ e ‘3.0’ foi realizada considerando-se três recortes temporais distintos (Figura 2): 2011 a 2020 (10 anos), 1996-2005 (10 anos), 1981-1985 e 2016-2020 (10 anos). A análise baseou-se em métricas estatísticas clássicas aplicadas à temperatura média mensal (°C) e à precipitação total mensal (mm), com foco na precisão, viés e correlação.

Durante o período de 2011 a 2020, os modelos ajustados (‘1.0’, ‘2.0’ e ‘3.0’) apresentaram desempenho satisfatório para a simulação da temperatura média mensal. O modelo ‘3.0’ destacou-se com os menores valores de erro absoluto (EA = 0,68 °C) e erro relativo (ER = 3,12%). Entretanto, os coeficientes de correlação (r^2 entre 0,72 e 0,75) indicam limitações na representação da variabilidade térmica mensal, comportamento também observado por Martins Filho *et al.* (2022), que identificaram alta acurácia para temperatura mínima ($r = 0,97$), mas desempenho inferior para temperatura máxima ($r = 0,78$) e precipitação ($r = 0,74$), com tendência à subestimação.

Esses resultados são corroborados por Carrara *et al.* (2023), cujo estudo demonstrou elevada correlação ($r > 0,9$) entre os dados de temperatura e umidade médias diárias estimadas pela NASA POWER e os dados de 489 estações do INMET. No entanto, observou-se maior erro nas estimativas horárias, sugerindo limitação da

plataforma na representação de eventos de curta duração. De forma semelhante, Rockett *et al.* (2023) analisaram o uso do NASA POWER para THI em bovinos no Canadá e relataram alta correlação para dados médios, mas baixa precisão em variáveis como umidade relativa e velocidade do vento.

Gráfico 1 - Avaliação da validação para a variável temperatura média mensal, de três diferentes conjuntos de dados climáticos (2011-2020, 1996-2005, 1981-1985 e 2016-2020) para os três modelos analisados (1.0, 2.0 e 3.0), Araxá-MG, 2025



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com relação à precipitação no mesmo período (Figura 3), todos os modelos apresentaram vieses negativos (PBIAS entre -16% e -19,5%) e elevados valores de RMSD e ER. Apesar dessas discrepâncias, a correlação temporal foi consistente ($r^2 \approx$

0,87), indicando boa representação da estrutura temporal. Tais resultados são compatíveis com os de Halimi *et al.* (2023), que observaram desempenho semelhante ao validar a precipitação estimada pelo NASA POWER na Turquia. Resultados comparáveis também foram relatados por Kheyruri *et al.* (2023) ao monitorar características de seca no Irã com base em dados da plataforma, especialmente com uso de índices SPI e SPEI. Al-Kilani *et al.* (2021) também destacaram o potencial da plataforma para o monitoramento de eventos extremos, como secas meteorológicas, na região semiárida da Jordânia.

A análise do período de 1996 a 2005 revelou o melhor desempenho global entre os recortes, com coeficientes de correlação próximos de 1 para a temperatura ($r^2 = 0,99$) e baixos índices de erro absoluto e relativo. Para a precipitação, os modelos '2.0' e '3.0' também apresentaram bons resultados, especialmente o modelo '2.0' (ER = 18,99%). Esses resultados refletem a eficácia da estratégia de calibração com os extremos da série histórica, validando no período intermediário.

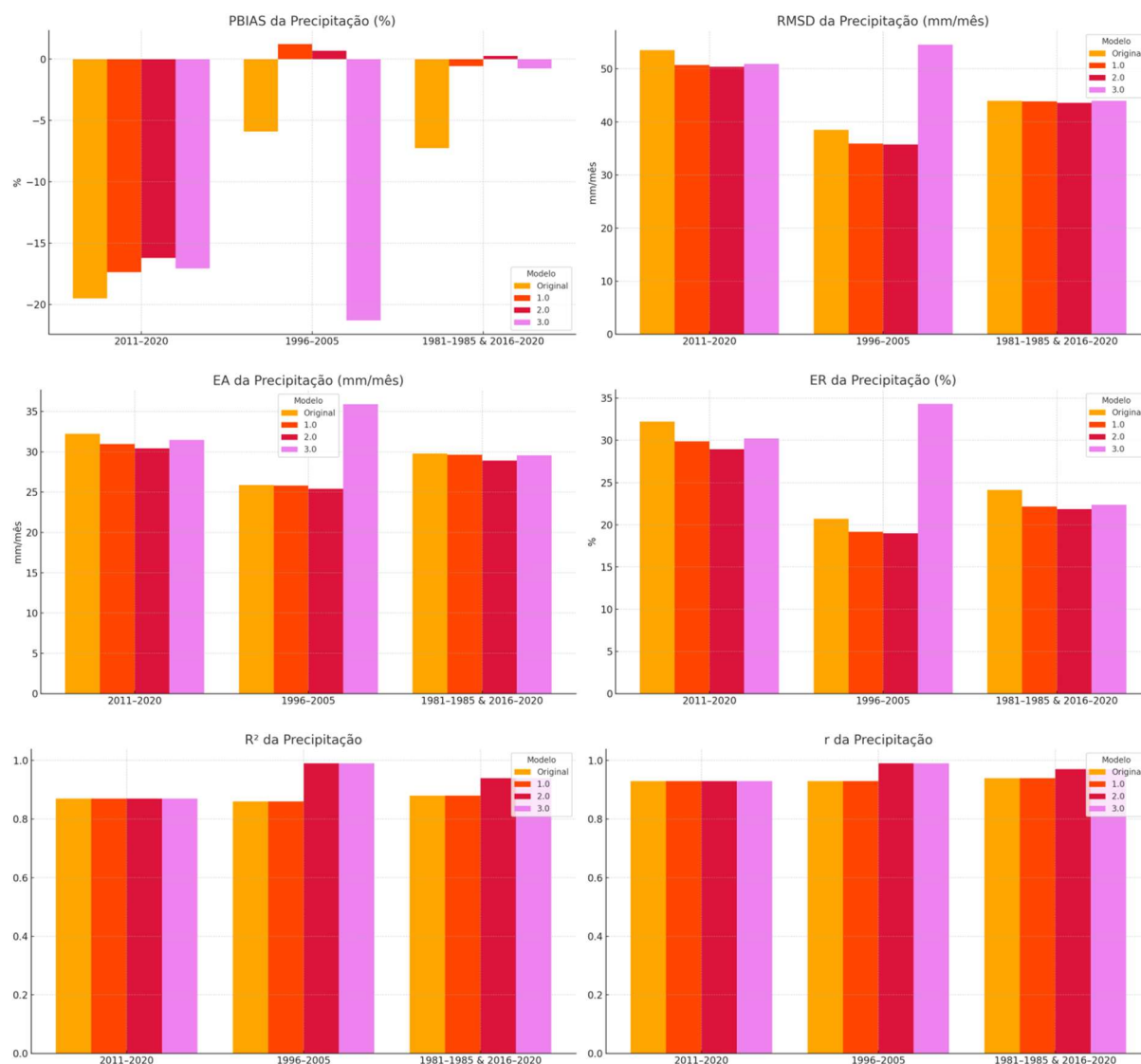
Nos períodos de 1981–1985 e 2016–2020, os modelos mantiveram alta correlação para temperatura ($r^2 = 0,99$) e precipitação ($r^2 = 0,94$), demonstrando robustez mesmo sob condições climáticas extremas recentes. Estudos como os de Venancio *et al.* (2020) e Kath *et al.* (2020) destacam os impactos expressivos da elevação da temperatura sobre a produtividade agrícola, reforçando a importância da acurácia na representação térmica pelos modelos.

White *et al.* (2008), nos EUA, validaram dados da NASA POWER e observaram forte correlação com dados de estações meteorológicas ($r^2 = 0,88$), apesar do viés de $-2,4$ °C para Tmax e $+1,1$ °C para Tmin. Simulações fenológicas com base nesses dados demonstraram alta aderência ($r^2 = 0,92$), evidenciando sua aplicabilidade agroclimática.

Em contexto europeu, Rodrigues e Braga (2021) relataram bom desempenho da NASA POWER para variáveis como temperatura e radiação solar ($R^2 > 0,82$) em clima mediterrâneo, mas baixa acurácia para vento. Após correção de viés, os resultados melhoraram, indicando a relevância de calibrações locais. Resultados semelhantes foram encontrados por Tayyeh & Mohammed (2023) na Bacia do Eufrates, ao validarem dados de temperatura e precipitação com bons coeficientes de determinação (R^2 entre 0,74 e 0,95). No Oriente Médio, Marzouk (2021) avaliou o aquecimento global em Omã com base em dados do NASA POWER e observou bom

desempenho para variáveis térmicas, embora com limitações na representação da precipitação.

Gráfico 2 - Avaliação da validação para a variável precipitação mensal, de três diferentes conjuntos de dados climáticos (2011-2020, 1996-2005, 1981-1985 e 2016-2020) para os três modelos analisados (1.0, 2.0 e 3.0), Araxá-MG, 2025



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com base nos resultados, os modelos '2.0' e '3.0' demonstraram melhor aderência aos dados observados e são indicados para aplicações regionais. Como apontado por Saldanha *et al.* (2022), a precisão dos dados de reanálise depende tanto da fonte quanto das condições locais e da escala temporal. Em Paranapuã-SP, os

dados de temperatura mínima foram classificados como "ótimos", enquanto a precipitação recebeu classificação "boa". Ainda na América do Sul, Monteiro *et al.* (2017) aplicaram a plataforma NASA POWER para simulação de produtividade de cana-de-açúcar, encontrando forte relação entre variáveis climáticas estimadas e desempenho da cultura. Darman *et al.* (2024), na Indonésia, também reforçaram a utilidade da plataforma para análises em regiões tropicais, destacando sua aplicabilidade no monitoramento agroclimático.

A combinação que utilizou os dados do período de 1981 a 1995 juntamente com o intervalo de 2006 a 2020 para fins de calibração, tendo como base de validação os anos de 1996 a 2005, foi aquela que apresentou o melhor desempenho em todas as métricas avaliadas. Esse resultado foi consistente tanto para as variáveis de temperatura quanto para os registros de precipitação, demonstrando uma maior confiabilidade do modelo nesse arranjo específico de séries históricas.

Observou-se, nesse contexto, uma aderência mais expressiva do modelo aos valores observados, refletindo uma menor ocorrência de desvios e uma redução significativa nos erros sistemáticos. Além disso, as análises estatísticas indicaram uma estabilidade superior, evidenciando que o modelo não apenas reproduziu com maior precisão os dados, mas também manteve um comportamento mais robusto frente às variações climáticas.

Esses achados reforçam de maneira contundente a importância de se selecionar cuidadosamente a série temporal utilizada para processos de calibração e validação. Uma escolha bem fundamentada e respaldada por dados consistentes contribui diretamente para o aprimoramento do desempenho do modelo, garantindo resultados mais confiáveis e aplicáveis a estudos futuros e a diferentes contextos de análise climática.

Em síntese, a importância da calibração com múltiplos períodos e validações robustas com dados observados localmente. Essa abordagem assegura maior representatividade climática e amplia a confiabilidade na aplicação dos modelos simulados em estudos agroclimáticos e hidrológicos. Além disso, a crescente utilização do pacote NASA POWER, descrito por Sparks (2018), tem facilitado o acesso e a integração de dados da NASA POWER em análises científicas, ampliando sua usabilidade em diversas regiões e plataformas.

Por fim, os resultados reforçam de maneira consistente a importância de se utilizar modelos devidamente calibrados com múltiplos períodos históricos,

abrangendo diferentes condições climáticas e variações sazonais, além de destacar o valor fundamental da adoção de processos de validação robustos baseados em observações locais e medições de campo de alta qualidade. Essa abordagem integrada garante maior representatividade climática, reduzindo incertezas e aumentando a confiança na interpretação dos resultados obtidos pelas simulações.

Ao mesmo tempo, ela amplia a aplicabilidade prática dos modelos, permitindo que os dados simulados sejam utilizados de forma mais segura em áreas estratégicas como o planejamento agrícola, o gerenciamento de recursos hídricos e a previsão hidrológica de curto e longo prazo. Desse modo, cria-se uma base sólida para análises e tomadas de decisão, contribuindo também para estudos voltados às mudanças climáticas e para a implementação de políticas e ações adaptativas mais eficazes em diferentes regiões e contextos produtivos.

5 CONCLUSÃO

As estimativas de temperatura do ar e precipitação fornecidos pela NASA POWER são confiáveis, e, podem ter sua precisão e acurácia melhorados principalmente, com uso das metodologias 2.0 e 3.0 utilizadas nesse estudo.

Ressalta-se que a escolha da faixa temporal possui interferência na validação da metodologia, devido às mudanças sutis nos valores observados ao longo do tempo, sendo mais preciso, utilizar para a calibração, valores nas extremidades e para a validação os dados do centro.

A partir dos resultados obtidos, a ferramenta NASA POWER pode ser uma alternativa confiável para estimativa de dados agrometeorológicos, em localidades que não possuam estações climáticas próximas, em que, os setores público e privado poderão utilizar as estimativas para implementar políticas de gestão de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- AL KILANI, M. R.; RAHBEH, M.; AL BAKRI, J.; TADESSE, T.; KNUTSON, C. Evaluation of Remotely Sensed Precipitation Estimates from the NASA POWER Project for Drought Detection Over Jordan. **Earth Systems and Environment**, Cham, v. 5, n. 6, 2021. <http://dx.doi.org/10.1007/s41748-021-00245-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-021-00245-2>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- ARAÚJO, C. S. P.; SILVA, I. A. C.; IPPOLITO, M.; CABRAL DE ALMEIDA, C. D. G. Evaluation of air temperature estimated by ERA5 Land reanalysis using surface data in Pernambuco, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Cham, v. 194, n. 11, e381, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-10047-2>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Mudanças climáticas e agricultura brasileira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 137-158, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/jJP56TJd4ZCKvQ4YmPhXgCk/?format=pdf&lang=pt&utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 18 fev. 2025.
- BANCO MUNDIAL. **Mudanças climáticas, agricultura e pobreza no Brasil**. 2012. Disponível em: <https://documents.worldbank.org/curated/en/364151468237586291/pdf/687740REVISSED00rasil020300portugues.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- BARBOZA, T. O. C.; FERRAZ, M. A. J.; PILON, C.; VELLIDIS, G.; VALERIANO, T. T. B.; SANTOS, A. F. Advanced farming strategies using NASA POWER data in peanut-producing regions without surface meteorological stations. **AgriEngineering**, Basel, v. 6, n. 1, p. 438–454, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6010027>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2624-7402/6/1/27>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- BRAGA, R. A. H. W.; SANTOS, E. B. Validação de dados de vento da reanálise ERA5 Land para estimativa de potencial eólico no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 4, p. 142–153, 2021. <https://doi.org/10.47168/rbe.v27i4.592>. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/592>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- CAMPOS, G. M.; SANTOS, G. O.; ALIEVI, L. A.; CANTÃO, V. C. G. Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a água no solo no cultivo de soja e milho em sucessão no Cerrado. **Observatório de la economía latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 5, p. 1–23, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/380866935>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- CARRARA, E. R.; LOPES, P. S.; REIS, A. C. Z.; SILVA, J. X.; DIAS, L. C. C. M.; SCHULTZ, É. B.; MARQUES, D. B. D.; SILVA, D. A.; VERONEZE, R.; ANDRADE, R. G.; PEIXOTO, M. G. C. D. NASA POWER satellite meteorological system is a good tool for obtaining estimates of the temperature humidity index under Brazilian conditions compared to INMET weather stations data. **International Journal of Biometeorology**, Cham, v. 67, n. 7, p. 1273–1277, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02493-5>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-023-02493-5>. Acesso em: 26 abr. 2025. DOI: <>.

CNN BRASIL. **Os impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira**. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/blogs/pedro-cortes/nacional/brasil/os-impactos-das-mudancas-climaticas-na-agricultura-brasileira/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

COMUNELLO, E. **Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul**. 2016. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/estudos_observatorio-do-zarc/estudos-2016/2016-eder-comunello-aprimoramento-do-zoneamento-agricola-de-risco-climatico-do-sistema-de-producao-da-soja-em-mato-grosso-do-sul.pdf. Acesso em: 26 abr. 2025.

CORREIA, A. A. Desempenho do projeto POWER/NASA para estimativa de precipitação pluvial e temperatura do ar no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos, v. 5, n. 3, p. 46–60, 2024. Disponível em: <https://rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/174/86>. Acesso em: 26 abr. 2025.

DARMAN, L. P.; JANUHARIADI; YUDHA, M. P.; ASLAN. Assessment of NASA POWER reanalysis products as data resources alternative for weather monitoring in West Sumbawa, Indonesia. **E3S Web of Conferences**, Les Ulis, v. 485, e06006, 2024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448506006>. Disponível em: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/15/e3sconf_etmc2024_06006/e3sconf_etmc2024_06006.html. Acesso em: 05 jan. 2025. DOI:

DINIZ, A. F. **Variabilidade climática e sua influência na agricultura: um estudo de caso no município de Irecê - BA**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-07082019-160033/publico/2016_AlineFrancoDiniz_VOrig.pdf. Acesso em: 12 jan. 2025.

EUROPEAN CENTER FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECAST (ECMWF). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. **Copernicus Climate Change Service (C3S)**, Reading, 2019. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>. Acesso em: 05 dez 2024.

HALIMI, A.H.; KARACA, H.C.; BÜYÜKTAŞ, D. Evaluation of NASA POWER Climatic Data against Ground-Based Observations in the Mediterranean and Continental Regions of Turkey. **Journal of Tekirdag Agricultura Faculty**, Tekirdağ, v. 20, n. 1, p. 104-114, 2023. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1073903>. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jotaf/issue/75002/1073903>. Acesso em: 12 jan. 2025.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; HIRAHARA, S.; HORÁNYI, A.; MUÑOZ-SABATER, J.; NICOLAS, J.; PEUBEY, C.; RADU, R.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A.; SOCI, C.; ABDALLA, S.; ABDELLAN, X.; BALSAMO, G.;

BECHTOLD, P.; BIAVATI, G.; BIDLOT, J.; BONAVIDA, M.; DE CHIARA, G.; DAHLGREN, P.; DEE, D.; DIAMANTAKIS, M.; DRAGANI, R.; FLEMMING, J.; FORBES, R.; FUENTES, M.; GEER, A.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S.; HOGAN, R. J.; HÓLM, E.; JANISKOVA, M.; KEELEY, S.; LALOYLAUX, P.; LOPEZ, P.; RADNOTI, G.; ROSNAY, P. de; ROZUM, I.; VAMBORG, F.; VILLAUME, S.; THÉPAUT, J.-N. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Chichester, v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020.

<https://doi.org/10.1002/qj.3803>. Disponível em:

<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.3803>. Acesso em: 17 fev. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2021.

Disponível em : <https://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 20 fev 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Instituto Nacional de Meteorologia, **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Acesso em: 03 de maio de 2025. Disponível em :

<https://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 20 fev 2025.

KATH, J.; BYRAREDDY, V. M.; CRAPARO, A.; NGUYEN-HUY, T.; MUSHTAQ, S.; CAO, L.; BOSSOLASCO, L. Not so robust: Robusta coffee production is highly sensitive to temperature. **Global Change Biology**, Chichester, v. 26, p. 3677–3688, 2020. <https://doi.org/10.1111/gcb.15097>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.15097>. Acesso em: 20 jan. 2025.

KHEYRURI, Y.; NIKAEIN, E.; SHARAFATI, A. Spatial monitoring of meteorological drought characteristics based on the NASA POWER precipitation product over various regions of Iran. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 30, n.15, p.43619–43640, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25283-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-25283-3>. Acesso em: 20 de fev. 2025.

MARTINS FILHO, J. B.; RODRIGUES, L. N.; HERNANDEZ, F. B. T. Validação de dados meteorológicos diários da plataforma NASA POWER para o município de Paranapuã-SP. *In*: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA FATEC DE BOTUCATU, 11., 2022, Ilha Solteira. **Anais eletrônicos** [...]. Ilha Solteira: FATEC, 2022. p.1-8. Disponível em:

<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/XIJTC/XIJTC/paper/viewFile/2856/3156>. Acesso em: 20 de jan. 2025.

MARZOUK, A. Assessment of global warming in Al Buraimi, sultanate of Oman based on statistical analysis of NASA POWER data over 39 years, and testing there liability of NASA POWER against meteorological measurements. **Heliyon**, Londres, v. 7, n. 3, p. 55-73, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06625>. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(21\)00728-3?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021007283%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)00728-3?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021007283%3Fshowall%3Dtrue).

Acesso em: 20 jan 2025.

MATSUNAGA, W. K.; SALES, E. S. G.; ASSIS JÚNIOR, G. C.; SILVA, M. T.; LACERDA, F. F.; DE PAIVA LIMA, E.; COSTA DOS SANTOS, C. A.; BRITO, J. I. B. Application of ERA5-Land reanalysis data in climate risk zoning for maize in the state of Bahia – Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Viena, v. 155, p. 945–963, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04670-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-023-04670-3>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C.; PEDRA, G. U. Assessment of NASA/POWER satellite-based weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation. **International Journal of Climatology**, New Jersey, v. 37, n. 2, p. 768–778, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.5282>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.5282>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MOVIMENTO DOS PEQUENOS AGRICULTORES (MPA BRASIL). **Como a mudança climática afetará a produção de alimentos no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://mpabrasil.org.br/noticias/como-a-mudanca-climatica-afetara-a-producao-de-alimentos-no-brasil/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

MUÑOZ-SABATER, J.; DUTRA, E.; AGUSTÍ-PANAREDA, A.; ALBERGEL, C.; ARDUINI, G.; BALSAMO, G.; BOUSSETTA, S.; CHOULGA, M.; HARRIGAN, S.; HERSBACH, H.; MARTENS, B.; MIRALLES, D. G.; PILES, M.; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, N. J.; ZSOTER, E.; BUONTEMPO, C.; THÉPAUT, J.-N. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth System Science Data**, Göttingen, v. 13, n. 9, p. 4349–4383, 2021. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/13/4349/2021/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

NASA POWER, **The Power Project**. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 20 fev 2025

OLIVEIRA, L. DE A. E. **Impactos das mudanças climáticas no risco da cultura da soja e suas implicações no seguro agrícola**. Dissertação (Mestrado Profissional em Agronegócios) — Escola de Economia de São Paulo (FGV EESP), São Paulo, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/29009>. Acesso em: 26 abr. 2025.

PORTELA, G. L. F.; LIMA, M. G.; PADUA, L. E. M.; SINIMBU NETO, F. A.; MARTINS, A. B. G. Z. Zoneamento agroclimático da cultura da mangueira no Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1036–1039, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/7gY389YPtg3RtFScXSxVYLN/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 jan. 2025.

QUANSAH, A. D.; DOGBEY, F.; ASILEVI, P. J.; BOAKYE, P.; DARKWAH, L.; ODURO-KWARTENG, S.; SOKAMA-NEUYAM, Y. A.; MENSAH, P. Assessment of solar radiation resource from the NASA-POWER reanalysis products for tropical climates in Ghana towards clean energy application. **Scientific Reports**, Londres, v. 12, e10684, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14126-9>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-14126-9>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ROCKETT, P. L.; CAMPOS, I. L.; BAES, C. F.; TULPAN, D.; MIGLIOR, F.; SCHENKEL, F. S. Phenotypic analysis of heat stress in Holsteins using test-day production records and NASA POWER meteorological data. **Journal of Dairy Science**, Pensilvânia, v. 106, n. 2, p. 1142–1158, 2023. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22370>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030222007494>. Acesso em: 20 jan. 2025.

RODRIGUES, D. B. B.; BRAGA, C. C. Evaluation of NASA POWER Reanalysis Products to Estimate Daily Weather Variables in a Hot Summer Mediterranean Climate. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 6, e1207, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061207>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1207>. Acesso em: 05 jan. 2025.

RODRIGUES, L. A.; SILVA, G. P.; OLIVEIRA, F. S.; COSTA, M. F.; SOUZA, A. R.; MOREIRA, L. A.; LOPES, P. L. Performance assessment of different precipitation databases in the SEALBA region, Brazil. **Water**, Basel, v. 14, n. 9, e1473, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14091473>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/9/1473>. Acesso em: 05 jan. 2025.

SALDANHA, R. F.; AKBARINIA, R.; PEDROSO, M.; RIBEIRO, V.; CARDOSO, C.; PENA, E. H. M.; VALDURIEZ, P.; PORTO, F. Zonal statistics datasets of climate indicators for Brazilian municipalities. **Environmental Data Science**, Cambridge, v. 3, e2, 2024. <https://doi.org/10.1017/eds.2024>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-data-science/article/zonal-statistics-datasets-of-climate-indicators-for-brazilian-municipalities/21E19C82A004D89C536DFE96BC22365C>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SANTOS, H. F. Modernização da agricultura e dinâmica do agronegócio globalizado no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Geografia em Questão**, Marechal Cândido Rondon, v. 12, n. 1, p. 9-36, 2019. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/download/18330/14036/80943>. Acesso em: 23 jan. 2025.

SPARKS, A. H. A NASAPOWER: A NASA POWER Global Meteorology, Surface Solar Energy and Climatology Data Client for R. **Journal of Open Source Software**, Chicago, v. 3, n. 30, p. 1035, 2018. <https://doi.org/10.21105/joss.010357>. Disponível em: <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.01035>. Acesso em: 20 jan. 2025.

TAN, MOU LEONG; ARMANUOS, ASAAD M.; AHMADIANFAR, IMAN; DEMIR, VAHDETTIN; HEDDAM, SALIM; AL-AREEQ, AHMED M.; ABBA, SANI I.; HALDER, BIJAY; KILINC, HUSEYIN CAGAN; YASEEN, Zaher Mundher. Evaluation of NASA POWER and ERA5-Land for Estimating Tropical Precipitation and Temperature Extremes. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 624, e129940, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129940>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216942300882X>. Acesso em: 20 mar. 2025.

TAYYEH, H. K.; MOHAMMED, R. Analysis of NASA POWER reanalysis products to predict temperature and precipitation in Euphrates River basin. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 619, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129327>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216942300269X?via%3Di>
hub. Acesso em: 20 mar. 2025.

THE NATURE CONSERVANCY (TNC). **Impactos das mudanças climáticas na produção agrícola**. 2023. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/artigos-e-estudos/impactos-mudancas-climaticas-producao-agricola/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

VENÂNCIO, L. P.; FILGUEIRAS, R.; MANTOVANI, E. C.; do AMARAL, C. H.; da CUNHA, F. F.; dos SANTOS SILVA, F. C.; ALTHOFF, D.; dos SANTOS, R. A.; CAVATTE, P. C. Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. **Scientific Reports**, Londres, v. 10, e19719, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76713-y>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-76713-y>. Acesso em: 20 mar. 2025

VIERA, J. C. A.; ROSA, G. B.; FUZZO, D. F. da S.; FISCHER FILHO, J. A. Balanço hídrico climatológico e calibração do sistema NASA POWER para a região sul do Triângulo Mineiro, Brasil: **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis, v.13, n.4, p. 75–87, 2024. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2024v13i4.p75-87>. Disponível em: <https://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/7283>. Acesso em: 20 mar. 2025.

WHITE, J. W.; HOOGENBOOM, G.; STACKHOUSE Jr., P. W.; HOELL, J. M. Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdã, v. 148, n. 10, p. 1574–1584, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.05.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192308001536> . Acesso em: 20 de mar. 2025.

WREGGE, M. S.; REINERT, F.; ASSAD, E. D. Contribuições das pesquisas agrometeorológicas do IAPAR para a agricultura paranaense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 193-204, 2012. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/download/26924/14885>. Acesso em: 26 abr. 2025.