

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO E A PRODUÇÃO DE MILHO NA MESORREGIÃO NORTE DO MARANHÃO ENTRE 2015 E 2021**

*Marcos Nabate Mendes Ferreira<sup>1</sup> & Rodrigo Lilla Manzione<sup>2</sup>*

**Abstract:** Water availability can be a limiting factor for agricultural production, so there is a need to analyze the effect of this factor on productivity in the context of climate change. Remote sensing has become a tool capable of estimating variables in the hydrological cycle over large areas using algorithms on GIS data platforms and data with series longer than thirty years, and can help in these analyses of precipitation, making it possible to understand how anomalies and extreme climatic events influence agriculture and the economy of a region. The aim of this study was to assess the relationship between agricultural production and precipitation in the northern mesoregion of Maranhão State, Brazil between 2015 and 2021. The region's main crop annual municipal production, corn, was provided by IBGE. The annual accumulated rainfall series were obtained from IMERG/GPM remote sensing data. The correlation between corn production and annual accumulated precipitation was calculated using Pearson's linear correlation coefficient. The results show a moderately strong correlation between corn production and precipitation over the period ( $r = 0.75$ ). Between 2015 and 2016 the region was under the influence of the El Nino event and between 2018 and 2021 under the influence of the ITCZ event, which brought a decrease and an increase in rainfall, respectively. Precipitation directly influenced corn production in the northern mesoregion of Maranhão, with highest and lowest production being related to the climatic events that occurred.

**Resumo:** A disponibilidade hídrica pode ser um fator limitante para a produção agrícola, havendo assim a necessidade em analisar o efeito desse fator sobre a produtividade no cenário das mudanças climáticas. O sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta capaz de estimar variáveis do ciclo hidrológico em grandes áreas utilizando algoritmos em plataformas de dados SIG e dados com séries maiores que trinta anos, podendo auxiliar nessas análises sobre a precipitação possibilitando entender como anomalias e eventos climáticos extremos influenciam a agricultura e a economia de uma região. O objetivo desse trabalho foi avaliar a relação entre a produção agrícola e a precipitação na mesorregião norte do Maranhão entre os anos de 2015 a 2021. Foi escolhida a cultura do milho, principal cultivo da região, cuja produção municipal anual foi fornecida pelo IBGE. A série de precipitação acumulada anual foi obtida por dados de sensoriamento remoto IMERG/GPM. A correlação entre as variáveis produção de milho e precipitação acumulada anual foi calculada utilizando o coeficiente de correlação linear de Pearson. Os resultados mostram uma correlação moderadamente forte entre a produção do milho e a precipitação no período ( $r = 0,75$ ). Entre os anos de 2015 e 2016 a região esteve sobre a influência do evento El Nino e entre 2018 e 2021 sob influência do evento ZCIT, que trouxeram uma diminuição e um aumento nas chuvas, respectivamente. A precipitação influenciou diretamente na produção do milho na mesorregião Norte do Maranhão, estando os momentos de maior e menor produção relacionados aos eventos climáticos ocorridos.

**Palavras-Chave** – Disponibilidade hídrica; Mudanças climáticas; Produtividade agrícola.

1) Universidade Estadual Paulista (UNESP), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso, Fazenda Lageado, Botucatu - SP, 18610-034, [marcos.nabate@unesp.br](mailto:marcos.nabate@unesp.br)

2) Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Geografia e Planejamento, Av. Renato da Costa Lima, 451 - Ville de France, Ourinhos - SP, 19903-302, [lilla.manzione@unesp.br](mailto:lilla.manzione@unesp.br)

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm provocado diversas interferências no setor agrícola, principalmente quando relacionado a periodicidade de chuvas em determinadas regiões. Nas últimas décadas, tem-se presenciado condições climáticas cada vez mais severas que impactam diretamente na disponibilidade hídrica, afetando o gerenciamento desse recurso para os centros urbanos e para a agricultura (Vivone, 2023). Mudanças nos padrões de precipitação têm provocado eventos de chuvas intensas e secas severas, haja visto que resultam em impactos abruptos nas esferas sociais, econômicas e ambientais, sendo enquadrados na categoria de eventos naturais extremos (Anjos *et al.*, 2024). No entanto, esses eventos extremos podem impactar diretamente no manejo agrícola das culturas que são altamente dependentes da precipitação como fonte de água (Santos *et al.*, 2022).

As mudanças relacionadas ao período de chuvas excessivas e estiagens prolongadas podem ser associadas a eventos climáticos que provocam variações descontroladas. O estudo sobre os eventos extremos pode nortear análises mais assertivas e contribuir para a tomada de decisão no campo procurando entender as tendências anômalas que podem atenuar os efeitos abióticos sobre a produção agrícola (Aryal *et al.*, 2022; Hendrawan *et al.*, 2022). O excesso hídrico e a seca prolongada influenciam diretamente nas condições fisiológicas das plantas provocadas pelo excesso de água no solo ou pelo baixo deslocamento de nutrientes do solo para a planta (Abdon *et al.*, 2024). Essas condições, podem afetar a cultura do milho provando a desconfiança dos produtores em safras posteriores devido ao acúmulo de prejuízos e alterações no preço de mercado resultando em uma menor produtividade (Orben *et al.*, 2024). Assim, existe a necessidade de se entender como os novos padrões do clima estão afetando a produção e a economia em decorrência de eventos climáticos que provocam impactos significativos na cultura do milho (Santos *et al.*, 2024). O objetivo desse trabalho foi avaliar a relação entre a produção agrícola e a precipitação na mesorregião norte do Maranhão entre os anos de 2015 e 2021.

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

O estudo foi direcionado à mesorregião norte do Maranhão com intuito de analisar as anomalias quanto à disponibilidade hídrica do solo ao longo da série histórica entre agosto de 2015 a setembro 2021. A escolha da mesorregião norte se deu pelo fato da agricultura praticada nos municípios que fazem parte dessa região apresentarem diversos problemas quanto ao manejo de diversas culturas cultivadas na região principalmente no milho. Um dos fatores que tem contribuído para o sucesso das lavouras é a disponibilidade hídrica, já que boa parte dos agricultores não utilizam sistemas de irrigação em seus campos de produção devido falta de suporte técnico e ao alto custo de implantação (Oliveira *et al.*, 2022).

### Características Ambientais e Climáticas da Mesorregião

A mesorregião é composta pelos biomas Amazônico com vegetação composta por árvores altas e matas de várzeas nas planícies e Cerrado com vegetação aberta e matas mais fechadas (EMBRAPA, 2016). Possui 3 classificações climática segundo Koppen sendo elas: As (Clima de Savana com seca no verão), Am (Clima de Monção) e Af (Clima Equatorial úmido) com temperatura média que varia entre 27,4 e 27,8 °C e precipitação que varia entre 1.531,7 mm e 2.095 mm por ano.

## Obtenção dos Dados

Os dados foram obtidos através da plataforma Google Earth Engine (GEE) que provém da United States Geological Survey (USGS) com linguagem de programação Java Script para modelagem dos dados. Os satélites utilizados foram o Global Precipitation Mission (GPM) que observa chuva a cada 3 horas o Integrated Multi-satelliE Retrievals (IMERG), que se trata de uma constelação de satélites que fornecem a precipitação para o GPM que são computados usando o Goddard Profiling Algorithm (GPROF2017) na versão 2017 (Huffman *et al.*, 2017).

## Compilação dos Dados e as Variáveis Analisadas

O código foi utilizado para a estimativa do acumulado mensal da precipitação está disponível no link a seguir: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG\\_CHIRPS\\_DAILY?hl=pt-br](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_DAILY?hl=pt-br). O código base foi modificado para obtenção dos dados da área do estudo através limite vetorial obtido no site do IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).

## Método Estatístico

Para análise da relação entre a disponibilidade hídrica e a produção de milho na mesorregião norte do Maranhão calculou-se o coeficiente linear de Pearson entre a precipitação anual e a produção anual de milho, conforme a Equação 1:

$$r = \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Assim, o  $r$  é o valor do coeficiente de correlação,  $x_i$  é o valor da variável  $x$  em uma amostra,  $\bar{x}$  é a média dos valores da variável  $x$ ,  $y_i$  é valor da variável  $y$  em uma amostra e  $\bar{y}$  é média dos valores da variável  $y$ .

Foi analisado o milho por ser a cultura mais relevante da região. O resultado dessa relação linear entre as variáveis é apresentado em um gráfico de dispersão e calculado um modelo para explicar a produção do milho em função da precipitação por regressão linear simples.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos de precipitação variaram entre 1350,15 e 2168,97 mm, com uma amplitude de 818,82 mm. Essa diferença suplanta a necessidade de dois ciclos da cultura do milho considerando um consumo médio de 3 mm por dia durante 120 dias (360 mm por ciclo). A média do período foi de 1807,16 mm, com um desvio padrão de 287,31 mm. O valor do desvio padrão demonstra a alta variabilidade das chuvas no período, flutuando quase 300 mm em torno da média. No ano de 2016 houve uma redução da precipitação em decorrência do El Niño ocorrido entre os anos de 2015 a 2016 (INMET, 2016) provocando uma redução na produtividade em relação ao ano anterior. Em seguida houve um acréscimo da precipitação até o ano de 2020 em decorrência do evento da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (INMET, 2020) proporcionando o aumento da produção ao longo desse período sendo a maior produção registrada em 2020. A Tabela 1, apresenta a precipitação e a produção anual de milho na mesorregião norte do estado.

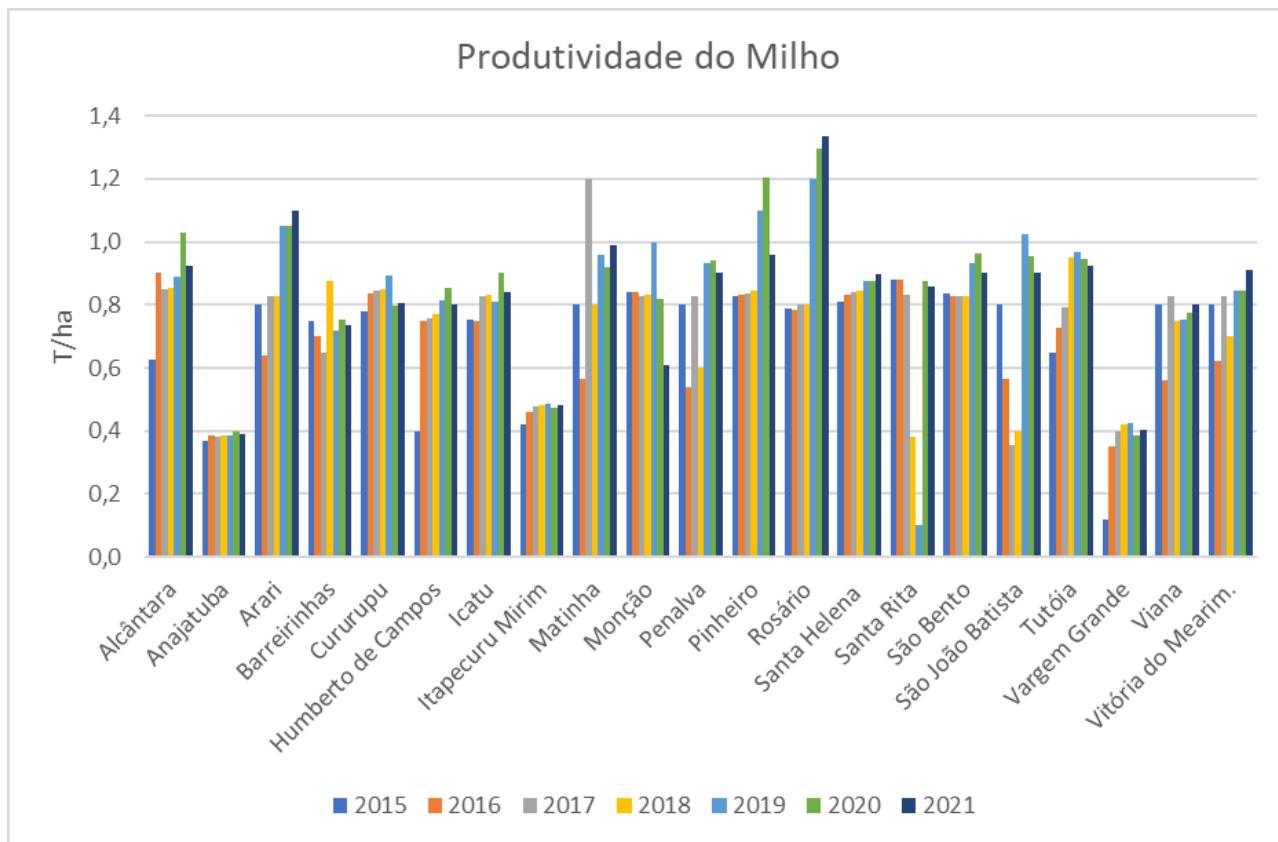
Tabela 1 – Valores da produção anual da cultura do milho para os municípios pertencentes a Mesorregião Norte do Maranhão entre os anos de 2015 a 2021.

Ano	Precipitação (mm)	Produção do milho (t)
2015	1.460,60	14,65
2016	1.350,15	14,35
2017	1.781,70	15,81
2018	2.007,38	15,02
2019	2.084,85	17,16
2020	2.168,97	18,05
2021	1.796,40	17,47
média	1.807,16	16,07

O efeito causado por essas oscilações sob a agricultura influenciou diretamente na produtividade em grande parte dos municípios da região norte. Na cultura do milho, percebeu-se que houve grandes oscilações na produtividade, embora tenha sido identificado um acréscimo dessa produtividade em alguns municípios durante a série histórica (Figura 2). A precipitação interferiu diretamente no desempenho da cultura devido à redução e ao excesso de água no solo. Entre os anos de 2015 a 2016, houve a redução da produtividade em grande parte dos municípios em decorrência da baixa disponibilidade hídrica na região (Figura 2). Porém, no ano de 2020 a produtividade cresceu em todos os municípios devido ao aumento do volume de chuvas provocando a elevação da umidade no solo impulsionando a produtividade. Porém, esse não foi o único fator que provocou o aumento na produtividade em 2019. Também houve uma recuperação da confiança dos agricultores em relação ao mercado, já que nos anos de 2016 e 2017 houveram prejuízos (CNA, 2018). Em relação a redução das chuvas e no ano seguinte o aumento da oferta, o preço da saca diminuiu resultando em uma menor produtividade em 2018 devido aos prejuízos acumulados dos dois anos anteriores.

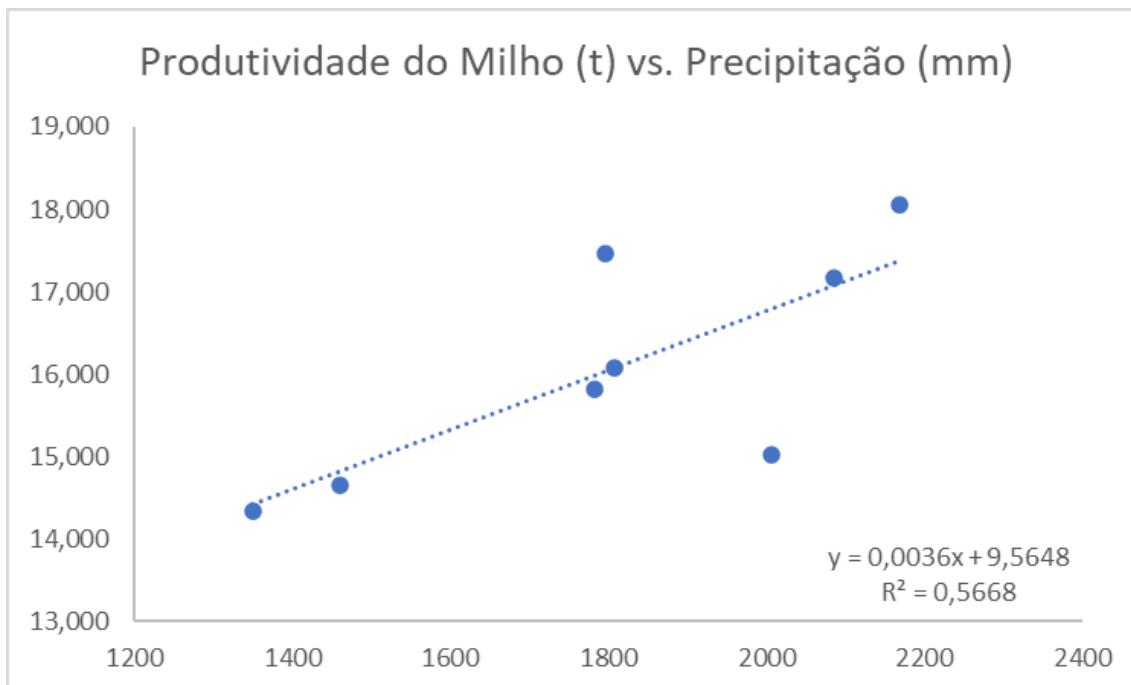
O milho possui exigências quanto a disponibilidade hídrica em determinas fases fisiológicas como na iniciação floral, período de fertilização e enchimento de grãos que ocorre entre 65 a 105 dias após o plantio (EMBRAPA, 2006). Isso, é devido a sensibilidade que o milho possui quanto ao estresse hídrico nessas fases que podem comprometer a formação de grãos da cultura resultando na queda da produtividade exigindo dos agricultores um planejamento agroclimático para a melhor época de semeadura e colheita. No entanto, umidades altas podem prejudicar tanto no tráfego de máquinas retardando o plantio ou a colheita resultando em uma perda de produtividade devido a possíveis problemas da falta de água em importantes fases fenológicas ou ao excesso de umidade que podem comprometer no processo de debulha ou armazenamento.

Figura 2 - Produtividade anual da cultura da mandioca entre os anos de 2015 a 2021 para os municípios pertencentes a Mesorregião Norte do Maranhão.



O coeficiente de correlação linear de Pearson calculado foi de  $r = 0,75$  representando uma correlação moderadamente forte entre os dados. Na figura 3 é apresentado o diagrama de dispersão entre os dados, e ajustada uma linha de tendência com a precipitação como variável resposta (x). O  $R^2 = 0,5668$  indicou que 56,68% dos dados da variável dependente são explicados pela variável independente incluída no modelo, enquanto 43,32% das variâncias são atribuíveis a outros fatores não considerados nesse estudo. Isso vai de encontro com Silva *et al.* (2025), que estudaram o estresse hídrico causado pela falta de água na cultura do milho em um estudo feito na área experimental do campus Arino do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais com 4 híbridos de milho sob duas lâminas de irrigação e constataram que deficiência hídrica provoca redução da biomassa foliar, fechamento dos estômatos impedindo o crescimento da planta e na formação das espigas causando danos irrecuperáveis.

Figura 3 – Diagrama de dispersão correlacionando a variável independente (precipitação) com a variável dependente (produtividade).



Esse resultado também corrobora com Campos *et al.* (2024), no qual estudaram os efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica do solo para a cultura do milho e da soja na região de Rio Verde-GO entre os anos de 2012 a 2022 e perceberam que, semeaduras realizadas entre 25/10 a 10/11 podem sofrer estresse hídrico na fase R4 da cultura do milho com o ISNA inferior a 0,65 reduzindo a produtividade, já que essa fase coincide com período de formação das espigas. O mesmo autor percebeu que, a demanda hídrica do milho varia entre 205 a 500 mm o que provoca a redução no período de estiagem da produtividade do milho pelo estresse hídrico provocado pela redução das chuvas, porém, quando ocorre precipitações que atendam essa necessidade a cultura promove o aumento da produção dos grãos pelo favorecimento da quantidade de água disponível no solo. Uma vez que no período em estudo os maiores e menores valores de produção e milho estão associados a maiores e menores valores de precipitação, e esses são advindos de eventos climáticos anômalos como El Niño e La Niña, é de se esperar que sua ocorrência apresente reflexos na produção agrícola, tanto positivos quanto negativos. É importante que os órgãos gestores e as agências de assistência técnica realizem e atualizem estudos como esse para não só informar os produtores como também aproveitar oportunidades de desenvolvimento e embutir resiliência nos sistemas produtivos da região. Dessa forma, são necessários estudos mais aprofundados que estejam voltados para o desempenho da cultura levando em consideração outros fatores, que quando expostos a esses fenômenos, podem influenciar na produtividade, já que este tem se tornado cada vez mais intensos. Assim, se faz necessário a imersão do ambiente acadêmico nas propriedades para que possam auxiliar os produtores no planejamento agrícola visando mitigar os efeitos abióticos sobre a produtividade.

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que houve uma correlação positiva moderadamente forte entre a produção de milho e a precipitação na mesorregião Norte do Maranhão

entre 2015 e 2021. No período a precipitação variou muito, com uma amplitude de 818,82 mm e um desvio padrão de 287,31 mm. Os valores mais baixos de precipitação e produção tiveram relação com o evento El Niño enquanto os valores mais altos de precipitação e produção e milho tiveram relação com o evento ZCIT.

## A GRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pela conceção da bolsa de mestrado (BM-08431/24) e ao Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI) para o desenvolvimento do estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABDON, K. M. *Et al.* (2024). “Estoque e traços funcionais de raízes finas na regeneração natural de uma floresta atingida por chuvas convectivas na Amazônia Central”. Revista Foco 1981-223X(17-11), pp 1-20.
- ANJOS, L. Z. (2024). “Resgate histórico dos eventos extremos de precipitação e seus impactos no município do Recife-PE”. Revista Brasileira de Climatologia 2237-8642(34), pp. 1-25.
- ARYAL, A. *Et al.* (2022). “Characterizing Meteorological Droughts in Nepal: A Comparative Analysis of Standardized Precipitation Index and Rainfall Anomaly Index”. Earth 409-432(3), pp. 1-24.
- CAMPOS, G. M. *Et al.* (2024). “Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a água no solo no cultivo de soja e milho em sucessão no cerrado”. Revista Observatorio de La Economia Latinoamericana (22-5), pp. 1-23.
- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. (2018). “Cereais, Fibras e Oleaginosas”. CNA (ed. 11), pp. 1-5.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2016). “Conservação da Biodiversidade do Estado do Maranhão: Cenário Atual em Dados Geoespaciais”. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069715/1/SerieDocumentos108Luciana.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2025.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2006). “Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho”. EMBRAPA 1679-1150, pp. 1-6.
- HENDRAWA, V. S. A. (2022). “A global-scale relationship between crop yield anomaly and multiscalar drought index based on multiple precipitation data”. Environmental Research Letters 0,14-0,37(17), pp. 1-15.
- HUFFMAN, G.J. *et al.* (2017). “GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth”. Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), pp. 1-5.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. (2020). “*Prognóstico climático de Outono*”. INMET, pp 1-19. Disponível em: [https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/prognostico\\_outono\\_2020.pdf](https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/prognostico_outono_2020.pdf). Acesso em: 21 Jun. 2025.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. (2016). “*Panorgeral das condições meteorológicas e os principais eventos extremos significativos ocorridos no Brasil em 2016*”. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Panorama-Geral-2016-Brasil.pdf>. Acesso em: 19 Jun. 2025.

ORBEN, J. M. C. Et al. (2024). “*Influência da precipitação sobre a produtividade da soja em Umuarama*”. Cuadernos de Educación 1989-4155( 17-1), pp. 1-14.

OLIVEIRA, A. B.; FILHO, J. C. S.; PAZ, D. A. S. (2022). “*Da Fronteira Agrícola aos Territórios do Agronegócio Florestal: avanços da silvicultura de eucalipto sobre a agricultura familiar nos municípios de São Francisco do Brejão e João Lisboa, Maranhão, Brasil*”. Geografia 2447-1747(31-4), pp. 1-20.

SANTOS, R. R. R. Et al. (2024). “*Precipitação pluviométrica na cultura do trigo em Cascavel-PR: impactos e correlações*”. Políticas Públicas e Cidades 2359-1552(13-2), pp. 1-15.

SANTOS, T. O.; FILHO, V. S. A.; FRANÇA, R. S. (2022). “*Variabilidade e tendência climática nos municípios de Manaus (AM) e São Gabriel da Cachoeira (AM): uma avaliação a partir dos dados de precipitação e temperatura*”. Revista Geonorte 2237-1419(14-43), pp. 149-171.

SILVA M. B. Et al. (2025). “*Desenvolvimento inicial de diferentes híbridos de milho sob variabilidade hídrica no solo*”. Revista Delos 1988-5245(18-64), pp. 1-20.

VIVONE, G. (2023). “*Multispectral and hyperspectral image fusion in remote sensing: A survey*”. Information Fusion 1566-2535(405), pp. 1-13.