O IMPACTO DAS SECAS NO PRODUTO AGROPECUÁRIO DO NORDESTE

Francisco Halysson Vieira[1]; Francisco de Assis de Souza Filho[1]; Roberto Tatiwa Ferreira[2] & Amanda Rodrigues Costa[1]; Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins[1]

RESUMO – A seca é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento econômico do Nordeste, afetando diretamente a produção agropecuária regional. Este estudo investiga efeitos não lineares da disponibilidade hídrica sobre o PIB agropecuário municipal via modelo de efeitos fixos com limiares (Panel Threshold Model), usando o Índice Padronizado de Precipitação (SPI-12) como variável de transição. Os dados cobrem os municípios nordestinos de 2000 a 2021. Os resultados identificam dois limiares significativos (SPI = −1,45 e SPI = −0,03), que dividem a amostra em três regimes climáticos. Em seca severa, aumentos no SPI elevam o PIB agropecuário em cerca de 8,1%; no regime intermediário, o impacto alcança 11%. Em condições mais úmidas, o efeito permanece positivo, mas cai para ~4%, evidenciando retornos marginais decrescentes. A interação entre irrigação defasada e SPI apresenta coeficiente negativo e significativo, indicando que a irrigação reduz a dependência da produção às oscilações climáticas. Os resultados apontam para a necessidade de políticas diferenciadas de adaptação climática, com ênfase na redução da vulnerabilidade hídrica, expansão da irrigação e ganhos de eficiência produtiva.

ABSTRACT– This study investigates nonlinear effects of water availability on municipal agricultural GDP in Northeastern Brazil (2000–2021) using a fixed-effects panel threshold model (Panel Threshold Model) with the Standardized Precipitation Index (SPI-12) as the transition variable. Two statistically significant thresholds are identified (SPI = −1.45 and SPI = −0.03), dividing the sample into three climatic regimes. Under severe drought, a unit increase in SPI raises agricultural GDP by ~8.1%; in the intermediate regime the effect reaches ~11%; under wetter conditions it falls to ~4%, reflecting diminishing marginal returns. The interaction between lagged irrigation and SPI is negative and significant, suggesting irrigation dampens the sensitivity of agricultural output to climate variability. Findings support differentiated adaptation policies focused on reducing water vulnerability and expanding irrigation infrastructure.

Palavras-Chave – seca; agropecuária; Nordeste

[1]) Centro Estratégico de Excelência em Políticas de Águas e Secas – CEPAS, Bloco 314, Campus do Pici. Pici; 60020-181, Fortaleza, CE, Brasil, (85) 3366-9522, franciscohvieira@gmail.com, assis@ufc.br, amandarcosta28@gmail.com, eduardo.martins@ufc.br

[2]) Departamento de Economia Aplicada e do Curso de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Ceará (DEA/CAEN/UFC), Av. da Universidade 2700, Benfica, 60020181 - Fortaleza, CE – Brasil, (85) 4009-7751, roberto.tatiwa@ufc.br

1 - INTRODUÇÃO

Dentro da ciência econômica, diversos autores já observaram que certas dotações geográficas e climáticas exercem influência significativa sobre o crescimento e o desenvolvimento dos países. Nessa perspectiva, trabalhos clássicos como Sachs e Warner (1997), Bloom e Sachs (1998) e Sachs (2001) argumentam que a localização tropical das nações tende a estar associada a menores taxas de crescimento ou mesmo ao subdesenvolvimento, por meio de múltiplos mecanismos. Entre eles destacam-se a fragilidade e a baixa fertilidade dos solos, a elevada evaporação, a instabilidade na oferta hídrica e a curta ou irregular estação chuvosa.

No âmbito meteorológico, as secas afetam diretamente a agricultura e a disponibilidade de água para consumo humano, em razão da dependência desses setores da umidade do solo e das precipitações. Esses impactos têm se intensificado com o avanço das mudanças climáticas, ampliando os riscos de perdas produtivas e de escassez hídrica (BROWN; MEEKS et al., 2011; STAHL; KOHN et al., 2016; GAUTIER; DENIS; LOCATELLI, 2016; STANKE; KERAC et al., 2013; ADAAWEN; RADEMACHER-SCHULZ et al., 2019; NAUMANN; CAMMALLERI et al., 2021).

Entre os principais canais de propagação dessas perdas, destacam-se os efeitos das mudanças climáticas sobre a intensificação da competição por terra e água, a redução da produção de alimentos, o aumento da pobreza e das desigualdades, a ampliação de conflitos violentos e a elevação dos riscos enfrentados por mulheres adultas e jovens (ONU, 2024; FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL, 2023). Em parte, esses resultados decorrem da restrição ao crescimento econômico imposta pela escassez hídrica (EL KHANJI e HUDSON, 2016), com impactos particularmente relevantes sobre a agricultura (BROWN, MEEKS *et al*., 2011).

Condições climáticas adversas, especialmente calor e seca, aumentam a insegurança alimentar e incentivam a migração das áreas rurais para centros urbanos, intensificando a vulnerabilidade social tanto nas regiões de origem quanto nas de destino (ASARE-NUAMAH, 2021; WATTS; HUTTON et al., 2024; AB'SÁBER, 1999; OJIMA; FUSCO, 2015).

Por fim, consolidado os prejuízos supracitados, este trabalho procura analisar os efeitos das secas sobre o produto agropecuário nordestino ao verificar se diferentes níveis de severidade das secas impactam de forma diferente na economia agropecuária dos municípios através de uma metodologia *threshold* com estimação endógena dos intervalos. Além disso, diferentemente da bibliografia anteriormente apresentada, que se limita a analisar os efeitos climáticos sobre a economia, este estudo

avança nessa discussão ao estimar, também, os limiares de severidade da seca a partir dos quais os impactos do clima se tornam significativamente relevantes para a atividade econômica agropecuária.

Ao propor a discussão nesta abordagem *threshold*, espera-se que a economia agropecuária do Nordeste apresente sensibilidade diferenciada à severidade da seca, de modo que municípios em regimes mais secos possam responder de forma distinta a variações na disponibilidade hídrica em comparação àqueles em condições próximas do normal. A hipótese central é que tanto a escassez quanto o excesso de umidade em relação à média histórica podem gerar impactos negativos sobre a produção, motivando a estimação de limiares que delimitem esses regimes. Sendo assim, tanto a insuficiência quanto o excesso de chuvas em relação à média histórica podem gerar problemas para a região.

2 - DADOS E METODOLOGIA

2.1 - SPI

O SPI, diferentemente de outros índices, utiliza apenas a precipitação como parâmetro, sendo que tal construção pode ser vista como benéfica devido a sua simplicidade e parcimonialidade de dados. Além disso, outro ponto positivo advém da sua capacidade de capturar os impactos específicos dos déficits hídricos acumulados sobre questões hidrológicas, ambientais, agrícolas e outras secas (devido diferenças temporais, particulares de cada um desses sistemas, no uso dos recursos hídricos) através da multiescalaridade (por exemplo 3, 6, 12, 24 ou 48 meses) (VICENTE-SERRANO, BEGUERÍA e LÓPEZ-MORENO, 2010, p. 1697; VICENTE-SERRANO, 2012, p. 4; SVOBODA, FUCHS e IDMP, 2016, p. 14). Especificamente neste trabalho foi utilizada a escala de 12 meses, ou seja, o SPI-12.

Para a construção do SPI neste trabalho utilizou-se dados de precipitação observada a partir de Xavier *et al* (2022) e históricos e projeções de 19 modelos climáticos com cenários SSP2-4.5, com a aplicação do pacote SPEI em linguagem R (BELGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S. M. 2023)[3]. Por fim a classificação do SPI foi proveniente do US Drought Monitor (2024) com informações oriundas da NASA (2024) e Copernicus European Drought Observatory (2024).

2.2 - Metodologia

A metodologia usada para este trabalho seguiu Hansen (1999) que desenvolveu um modelo de regressão de dados em painel (não-dinâmicos) com efeito *threshold* apresentado como:

[3] Por mais que tenha esse nome existe uma rotina interna chamada SPI para a construção desse índice.

$$y_{it} = \mu_i + \beta_1' x_{it} I(q_{it} \leq \gamma) + \beta_2' x_{it} I(q_{it} > \gamma) + e_{it} \quad (1)$$

onde $I(.)$ é uma função indicadora.

O parâmetro γ é estimado endogenamente por minimização da soma dos quadrados dos resíduos, com inferência baseada em *bootstrap*. O teste de existência de limiar segue procedimento de razão de verossimilhança não padrão.

No caso de múltiplos limiares, o modelo é expandido para três regimes, permitindo a identificação de diferentes respostas da variável dependente ao SPI.

2.3 - Modelo

A partir dessa metodologia, o presente trabalho analisa a relação entre economia e clima a partir do modelo a seguir:

$$ln(y_{i,t}) = \mu + \beta_1(irrigação_{i,t-1} * SPI_{i,t}) + \beta_2 SPI_{i,t} I(SPI_{i,t} < \gamma) + \beta_3 SPI_{i,t} I(SPI_{i,t} \geq \gamma) + u_i + \delta_t + e_{i,t} \quad (2)$$

onde $y_{i,t}$ é o PIB Agropecuário a preços de 2010, $SPI_{i,t}$ é o *Standardized Precipitation Index* (SPI); irrigação é uma *dummy* para identificar a existência ou não de irrigação no município *i* no tempo *t-1*; γ é o parâmetro do *threshold* que divide a equação em diferentes regimes, com coeficientes β_2 *e* β_3, respectivamente; u_i e δ_t são efeitos individuais e $e_{i,t}$ o distúrbio. Ao usar a irrigação defasada, o modelo evita que o SPI do mesmo ano "cause" reversamente a presença de irrigação (ex.: município investe em irrigação justamente porque está enfrentando seca naquele ano). Já a interação reflete: dado que a infraestrutura de irrigação já estava instalada e operando antes do choque climático atual, qual é o efeito adicional desse choque sobre o produto agropecuário?

Por fim, para esta estimação, foi utilizado o comando *xthreg* desenvolvido por Wang (2015) para o Stata[4], que assim como Hansen (1999), calcula o valor do *threshold* endogenamente.

2.4 - Amostra

A amostra compreende dados anuais dos municípios do Nordeste brasileiro no período de 2000 a 2021. Como já explicado na seção 2.1, os dados sobre o SPI foram obtidos para os períodos de 2000 a 2021, a partir dos dados de precipitação encontrados em Xavier (2022), e 2026 a 2100 a partir de 19 modelos de projeção climática com trajetórias SSP245. Já o PIB agropecuário é oriundo do IBGE (2023) e IPEADATA, com valores reais de 2010 deflacionado com o deflator implícito do PIB, obtido no IPEADATA[5]. A variável de irrigação foi retirada do MapBiomas (SOUZA et al, 2020). Vale destacar que apenas municípios com a série completa para estas variáveis foram utilizados, totalizando uma amostra de 1760 entes municipais.

[4] Foi utilizado para as estimações o software *STATA 17 MP-Paralell Edition.*
[5] Com dados oriundos do IBGE (2023) e do Sistema de Contas Nacionais.

3 - RESULTADOS

A partir da análise da Tabela 1 observa-se que a interação da irrigação defasada revela um coeficiente negativo: o efeito marginal do SPI corrente sobre o produto agropecuário é reduzido em 0,033 em relação aos municípios sem irrigação prévia, independentemente do regime climático em que se encontrem. Considerando esse ajuste, o efeito líquido do SPI para municípios com irrigação consolidada no ano anterior passa a ser: 0,048 no Regime 1 (seca severa), 0,077 no Regime 2 (faixa próxima do normal) e 0,006 no Regime 3 (condições normais/úmidas), sendo neste último caso, um efeito praticamente nulo. Esse resultado sugere que a irrigação atua como mecanismo de adaptação ao clima, atenuando a dependência da produção agropecuária em relação às variações do SPI corrente. Isso resultados sugere que políticas voltadas ao incremento da eficiência hídrica, da infraestrutura de irrigação e da disponibilidade de recursos hídricos podem gerar ganhos substanciais em produtividade e fortalecer a resiliência do setor agropecuário frente as secas.

Tabela 1- Valores dos Thresholds e Coeficientes para a Região Nordeste

Varáveis de controle	**Coeficiente**			
$Irrigação\ x\ SPI$	-0,033***			
N° de Thresholds	**Threshold**	**Classificação SPI**		**Coeficientes**
γ_1	-1.45***	severamente seco	$q_{it} \leq \gamma_1$	0,081***
γ_2	-0.03***	próximo do normal	$\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2$	0,110***
			$\gamma_2 < q_{it}$	0.039 ***

*: significante a 10%; **: significante a 5%; ***: significante a 1%
Fonte: Elaborado pelos autores.

De modo geral, a partir da tabela 1, os resultados indicam que todos os municípios com valores de SPI abaixo da normalidade, tanto aqueles classificados como severamente secos (SPI < γ_1) quanto os situados no intervalo intermediário ($\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2$), apresentam ganhos econômicos decorrentes do aumento da umidade, refletidos em impactos positivos sobre o PIB Agropecuário. Entretanto, observa-se que, nos municípios severamente secos (SPI < γ_1), um incremento de uma unidade no SPI está associado a um aumento aproximado de 8,1% no PIB Agropecuário, enquanto nos municípios situados entre γ_1 e γ_2 o impacto marginal é maior, em torno de 11%. Esses resultados sugerem que, embora políticas públicas de apoio ao setor agropecuário sejam essenciais nas áreas mais áridas, inclusive por razões socioeconômicas, os retornos econômicos das condições de maior disponibilidade hídrica são substancialmente superiores. A partir do segundo limiar (γ_2), associado à transição para condições mais úmidas, observa-se que os efeitos das chuvas sobre a agropecuária tornam-se menos intensos. Os resultados sugerem que, embora a disponibilidade hídrica continue exercendo influência positiva sobre a atividade agropecuária, ganhos adicionais decorrentes do

aumento da precipitação passam a ocorrer em menor magnitude. Esse comportamento é consistente com a hipótese de retornos marginais decrescentes da água sobre a produção agrícola.

Sendo assim, observa-se impacto positivo nos dois primeiros intervalos, correspondentes às condições de déficit hídrico mais intenso e moderado, e efeito positivo, mas menor, no último grupo, associado ao excesso de chuvas. Em suma a sensibilidade no PIB agropecuário ao SPI não é constante e mantém um padrão de U invertido, ou seja, a umidade apresenta retornos decrescentes.

Ao analisar mais profundamente a variância entre os conjuntos por meio do teste de Levene[6], verificou-se, assim como o esperado, que as variâncias diferem significativamente entre si[7] e seguem um padrão decrescente ao longo dos regimes. No primeiro conjunto de municípios, situado abaixo do primeiro *threshold*, observou-se a maior variância dos resíduos. O segundo regime apresenta uma variância intermediária, enquanto o último regime exibe a menor variabilidade residual.

Sendo assim, essa maior incerteza no conjunto de municípios mais secos pode decorrer do fato de que a produção agropecuária em regiões áridas é estruturalmente mais sensível a variações climáticas, de modo que pequenas alterações na disponibilidade hídrica podem gerar efeitos desproporcionais sobre a produtividade. Além disso, estes municípios tendem a apresentar menor capacidade de mitigação, seja por limitações em irrigação, infraestrutura hídrica, acesso a crédito ou tecnologias adaptativas, o que amplifica a severidade e a heterogeneidade das respostas aos choques climáticos.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam uma relação não linear entre disponibilidade hídrica e desempenho agropecuário no Nordeste brasileiro. Municípios em condições de seca severa apresentam maior sensibilidade a variações de precipitação, enquanto regimes mais úmidos exibem retornos marginais decrescentes.

Do ponto de vista de política pública, os achados reforçam a necessidade de estratégias diferenciadas de adaptação climática. Em regiões mais secas, políticas de redução de vulnerabilidade são centrais. Em regiões intermediárias, há maior potencial de ganhos produtivos via eficiência e tecnologia. Já em regiões mais úmidas, os resultados indicam retornos limitados de políticas focadas apenas em expansão hídrica, sendo mais eficazes estratégias de produtividade e gestão.

A análise também mostra que a irrigação atua como mecanismo de mitigação dos impactos climáticos, reduzindo a dependência da produção agropecuária em relação às variações do SPI.

[6] Foi realizado o teste de Levene centrado na média, na mediana e usando a média com *trimming* de 10%. Em todos os casos rejeitou-se, a 1%, a hipótese nula de variâncias iguais entre grupos.
[7] Levene W50 = 11,70 ($p < 0,01$)

Em síntese, tanto a escassez quanto o excesso de umidade afetam o desempenho do setor de forma não linear, reforçando a importância de políticas territoriais diferenciadas em um contexto de mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. Sertões e sertanejos: umageografia humana sofrida. Estudos Avançados, São Paulo, 13, n. 36, 1999. 7-59.

ADAAWEN, S. et al. Drought, migration, and conflict in sub-Saharan Africa: what are the links and policy options? In: EVERISTO MAPEDZA, Daniel T. M. B. R. M. Current Directions in Water Scarcity Research. [S.l.]: [s.n.], v. 2, 2019. p. 15-31.

ALLEY, W. M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. Journal of Applied Meteorology and Climatology, n. 23, 1984. 1100-1109.

BAI, J. Estimating multiple breaks one at a time. Econometric Theory, v. 13, p. 315-352, 1997.

BARRIOS, S.; BERTINELLI, L.; STROBL, E. Trends in rainfall and economic growth in Africa: A neglected cause of the african growth tragedy. The Review of Economics and Statistics, v. 92, n. 2, p. 350-366, Maio 2010.

BELGUERÍA, S. VICENTE-SERRANO, S. M. SPEI: Calculation of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration. Disponível: https://github.com/sbegueria/SPEI. 2023.

BLOOM, D. E.; CANNING, D.; SEVILLA, J. Geography and poverty traps. Journal of Economic Growth, 8, 2003. 355-378.

BLOOM, D.; SACHS, J. D. Geography, Demography and Economic Growth in Africa. Brookings Papers on Economic Activity, 29, n. 2, 1998. 207-296.

BROWN, C. et al. Hydroclimate risk to economic growth in Sub-Saharan Africa. Climatic Change, v. 106, p. 621-647, 2011.

BROWN, C. et al. Is water security necessary? An empirical analysis of the effects of climate hazards on national level economic growth. Phil. Trans. R. Soc. A, 2013.

DAMANIA, R.; DESBUREAUX, S.; ZAVERI, E. Does rainfall matter for economic growth? Evidence from global sub-national data (1990-2014). Journal of Environmental Economics and Management, 102, 2020.

DELL, M.; JONES, B. F.; OLKEN, B. A. Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. American Economic Review, 4, n. 3, 2012. 66-95.

EL KHANJI, S.; HUDSON, J. Water utilization and water quality in endogenous economic growth. Environment and Development Economics, 21, n. 5, 2016. 626-648.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA, 2025. Disponível: https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema. Acesso: novembro/2025.

FONTES, P. Um nordeste em São Paulo: trabalhadores migrantes em São Miguel Paulista, 1945/1966. Rio de Janeiro: FGV, 2008. 436 p.

FORUM ECONÔMICO MUNDIAL, 2023. Disponível em: https://www.weforum.org/stories/2023/01/climate-crisis-poor-davos2023/. Acesso em: abr. 2024.

GALLUP, J. L.; SACHS, J. D.; MELLINGER, A. D. Geography and Economic Development. International Regional Science Review, Agosto 1999. 179-232.

GAUTIER, D.; DENIS, D.; LOCATELLI, B. Impacts of drought and responses of rural populations in West Africa: a systematic review. WIREs Clim Change, 7, 2016. 666-681.

GUERRA, Paulo D. B. A Civilização da Seca. Fortaleza: DNOCS, 1981.

HANSEN, B. E. Inference when a nuisance parameter is not identified under the null hypoyhesis. Econometrica, 64, 1996. 413-430.

HANSEN, B. E. Sample splitting and threshold estimation. Econometrica, 68, n. 3, 2000. 575-603.

HANSEN, B. E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing and inference. Journal of Econometrics, 93, 1999. 345-368.

HORNBECK, R. The enduring impact of the American Dust Bowl: Short- and longrun adjustments to environmental catastrophe. American Economic Review, 102, n. 4, 2012. 1477–1507.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia, 2023. Disponivel em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 2024.

IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E.

Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press., 2019.

KAHN, M. E. et al. Long-Term Macroeconomics Effects of Climate Change: A Cross-Coutry Analysis. Energy Economics, 2021.

KOTZ, M.; LEVERMANN, A.; WENZ, L. The effect of rainfall changes on economic production. Nature, n. 601, 2022. 223-227.

MOURA, H. A. D. Impactos das Mudanças Demográficas sobre as Demandas Sociais nas Metrópoles do Nordeste. Caderno de Estudos Sociais, Recife, 3, n. 3, jul./dez. 1987. 241-268.

MYERS, N. Environmental refugees: a growing phenomenon of the 21st century. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci., 357, n. 1420, 29 Abril 2002. 609-613.

NAUMANN, G. et al. Increased economic drought impacts in Europe with anthropogenic warming. Nature Climate Change, 11, 2021. 485-491.

NG, P.; ZHAO, X. No matter how it is measured, income declines with global warming. Ecological Economics, 70, 2011. 963-970.

OJIMA, R.; FUSCO, W. Migrações e nordestinos pelo Brasil: uma breve contextualização. In: OJIMA, R.; FUSCO, W. Migrações Nordestinas no Século 21 - Um Panorama Recente. São Paulo: Edgard Blücher, 2015. Cap. 1, p. 11-26.

OLIVEIRA, G. Adaptation to climate change and agricultural productivity in Brazil. Trabalho em Progresso, 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas, 2024. Disponível em: https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/human-security. Acesso em: 2024.

ROY, T. The Development of Arid Tropics: Lessons for Economic History. Economic History of Developing Regions, 38, n. 2, 2023. 151-172.

SACHS, J. D. Tropical Underdevelopment. NBER Working Paper, 2001.

SACHS, J.D.; WARNER, A. M. Fundamental Sources of Long-Run Growth. The American Economic Review, 87, n. 2, Maio 1997. 43-76.

STAHL, K. et al. Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 2016. 801–819.

STANKE, C. et al. Health effects of drought: a systematic review of the evidence. PLoS Curr, 2013.

SOUZA *et al.* Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine – Remote Sensing, v. 12, n. 17, 10.3390/rs12172735. 2020.

SVOBODA, Mark; FUCHS, Brian; IDMP, Integrated D. M. P. Handbook of Drought Indicators and Indices. Genebra: [S.n.], 2016.

THEMEßL, M. J.; GOBIET, A.; LEUPRECHT, A. Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. International Journal of Climatology, v. 31, n. 10, 2010. 1530-1544.

UNESCO. Scientific framework of world water balance: A contribution to the International Hydrological. Technical Papers in Hydrology, 7, 1971.

VICENTE-SERRANO, S. M. . A. C. Performance of Drought Indices for Ecological, Agricultural, and Hydrological Applications. Earth Interactions, n. 16, 2012. 1–27.

VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate, n. 23, 2010. 1696-1718.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). International Journal of Climatology, 42(16), 8390–8404. https://doi.org/10.1002/joc.7731. 2022.

WANG, Q. Fixed-effect panel threshold model using Stata. Stata Journal, 15, n. 1, 2015. 121-134.

WATTS, M. et al. The potential effects of climate change on subsistence farmers wellbeing in tropical (sub)montane homegardens. A case study on Mount Kilimanjaro. Journal of Rural Studies, 110, 2024.

WOOLDRIDGE, J. M.. Introdução à econometria: uma abordagem moderna. 4ª edição norteamericana. São Paulo: Thomson, 2010.

ZAVERI, E. D.; DAMANIA, R.; ENGLE, N. L. Droughts and Deficits-Summary Evidence of the Global Impact on Economic Growth. Water Global Practice, 2023.