

Índice de irregularidade temporal das chuvas no Brasil de 1991 a 2022

Index of temporal irregularity of rainfall in Brazil from 1991 to 2022

Álvaro José Back¹ , Sérgio Luciano Galatto² , Gabriel da Silva Souza² 

¹Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina, Urussanga, SC, Brasil. E-mail: ajb@epagri.sc.gov.br

²Parque Científico e Tecnológico, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil. E-mails: sga@unesc.net, eng.agrimensorgabriel@gmail.com

Como citar: Back, A. J., Galatto, S. L., & Souza, G. S. (2024). Índice de irregularidade temporal das chuvas no Brasil de 1991 a 2022. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e13. <https://doi.org/10.21168/rega.v21e13>

RESUMO: As mudanças climáticas têm como consequência a intensificação de eventos extremos. O índice de irregularidade temporal permite a caracterização da variabilidade espaço-temporal das precipitações permite quantificar estes eventos. A determinação deste índice é de grande importância ao conhecimento científico, pois permite compreender tendências e alterações climáticas em variadas escalas. Este estudo avalia a irregularidade temporal da precipitação anual, semestral e mensal no território do Brasil com base no índice de irregularidade temporal, variando de zero ao infinito em função da precipitação estudada. Valores próximos de zero indicam regularidade das chuvas, valores muito altos denotam maior irregularidade. A determinação dos valores do índice foi desenvolvida em 1306 estações pluviométricas com séries superiores a 25 anos, considerando o período de 1990 a 2022. Foi aplicado o método geoestatístico de krigagem ordinária para espacialização e interpolação dos valores para locais desprovidos de dados de pluviometria. Os valores do índice na base mensal encontrados ao longo do território brasileiro variam de 0 a 2,755. No intervalo semestral, os valores de variaram de 0,110 a 1,784, enquanto que na base anual variam de 0,088 a 0,666. As regiões Norte, Centro-Oeste e Sul possuem a menor irregularidade temporal, enquanto que a maior irregularidade temporal predomina no Nordeste brasileiro. Os valores encontrados mostram as particularidades de cada região, influenciadas pelos diferentes sistemas atmosféricos atuantes no território.

Palavras-chave: Eventos Extremos; Precipitação; Climatologia; Espacialização.

ABSTRACT: Climate change results in the intensification of extreme events. The temporal irregularity index allows the characterization of the spatio-temporal variability of precipitation and quantifies these events. Determining this index is of great importance to scientific knowledge, as it allows understanding trends and climate changes on different scales. This study evaluates the temporal irregularity of annual, semi-annual and monthly precipitation in the territory of Brazil based on the temporal irregularity index, varying from 0 to infinity depending on the precipitation studied. Values close to zero indicate regularity of rainfall, very high values denote greater irregularity. The determination of the index values was developed in 1306 rainfall stations with series longer than 25 years, considering the period from 1990 to 2022. The geostatistical method of ordinary kriging was applied for spatialization and interpolation of values for locations without rainfall data. The index values on a monthly basis found throughout the Brazilian territory vary from 0 to 2.755. In the semiannual interval, the values varied from 0.110 to 1.784, while on the annual basis they ranged from 0.088 to 0.666. The North, Central-West and South regions have the lowest temporal irregularity, while the greatest temporal irregularity predominates in the Brazilian Northeast. The values found show the particularities of each region, influenced by the different atmospheric systems operating in the territory.

Keywords: Extreme Events; Precipitation; Climatology; Spatialization.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm como consequência alteração no regime das chuvas e a intensificação dos eventos extremos. Vários autores (Niyogi et al., 2017; Di Giulio et al., 2019) destacam a necessidade de compreender os fenômenos extremos, como as chuvas intensas e as secas prolongadas, uma vez que a população fica vulnerável aos impactos desses eventos, seja por enchentes, inundações, deslizamentos de terra, ou por escassez de água afetando o abastecimento público. Souza & Nascimento (2020) destacam que a caracterização da variabilidade espaço-temporal

Recebido: Maio 25, 2024. Revisado: Julho 16, 2024. Aceito: Julho 17, 2024.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

das precipitações permite quantificar de forma adequada os efeitos ocasionados por eventos extremos.

A determinação da variabilidade da precipitação é de grande importância ao conhecimento científico, pois permite compreender tendências e alterações climáticas em variadas escalas (Marcuzzo & Goularte, 2012). Na literatura científica existem alguns índices que permitem caracterizar a variabilidade espaço-temporal da chuva de uma região, bem como classificar as magnitudes de anomalias (Melo & Lima, 2021).

Nery et al. (2017) destacam a necessidade de analisar e compreender os processos hidrológicos em áreas agrícolas e bacias hidrográficas devido ao seu impacto na erosão e conservação do solo. De todos os parâmetros climáticos regulares, a precipitação é o mais variável no tempo e no espaço (Ely & Dubreuil, 2017). Portanto, determinar a variabilidade espaço-temporal da precipitação por meio da análise de séries de dados diários, mensais e anuais, permite avaliar a sazonalidade, variabilidade e frequência de eventos. Os autores destacam ainda que um dos aspectos mais importantes da variabilidade climática é compreender a distribuição temporal das chuvas e seu histórico de mudanças.

Para Klik & Truman (2003), conhecer a distribuição temporal das chuvas intensas permite avaliar a quantidade de escoamento e perda de solo. As mudanças na distribuição temporal das chuvas têm implicações em vários setores como na modificação dos sistemas fluviais, na recarga de águas subterrâneas, na disponibilidade de água e na produção de energia hidrelétrica (Aguado et al., 1992; Paredes et al., 2006; López-Moreno et al., 2009).

A análise da variabilidade temporal dos elementos climáticos é um dos temas abordados de grande atenção nas pesquisas climatológicas realizadas desde o início da década de 2000 (Martín-Vide et al., 2001). Os autores destacam que nessa época já havia necessidade em se distinguir entre variabilidade climática natural e aquela induzida pela ação antrópica. Na análise da variabilidade temporal dos elementos climáticos, utilizam-se parâmetros estatísticos clássicos, especialmente o coeficiente de variação (CV) e o desvio padrão (Martín-Vide et al., 2001; Sarricolea Espinoza & Martín-Vide, 2014). Além desses parâmetros estatísticos, os autores citam que é conveniente ter índices para avaliar a irregularidade temporal das séries de precipitação.

Nos estudos realizados por Sarricolea Espinoza & Martín-Vide (2014), a variabilidade temporal da precipitação é normalmente determinada em bases mensal, sazonal e anual. Os autores descrevem que se deve considerar as séries históricas e a aplicação da estatística de dispersão, tais como, o intervalo de confiança, variância, coeficiente de variação (CV), desvio padrão e, mais recentemente, o índice de irregularidade temporal (S_1), proposto por Martín-Vide et al. (2001).

O índice S_1 deste estudo, indicado no capítulo de materiais e métodos, considera a ordem dos valores da série histórica da precipitação e as diferenças expressas de modo absoluto (Martín-Vide et al., 2001). Contudo, é possível fazer que todos esses parâmetros estatísticos que expressam a variabilidade da precipitação quase sempre são aplicados a valores mensal e anualmente, mas raramente ao nível diário. Nos estudos desenvolvidos no território do Chile, Sarricolea Espinoza & Martín-Vide (2014) enfatizam que os parâmetros estatísticos que expressam a variabilidade temporal da precipitação são geralmente aplicados de forma mensal e/ou anual.

Segundo os estudos de Zhou & Lau (1998) e Carvalho et al. (2011), em grandes partes da América do Sul, as chuvas apresentam sazonalidade, com estação seca de junho a agosto, e estação chuvosa de dezembro a fevereiro. Na Bacia Amazônica, um estudo recente (Zappalà et al., 2018) identificou mudanças concretas nos padrões espaciais de precipitação conectada a um deslocamento para o norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), bem como um alargamento da faixa de precipitação no oeste do Oceano Pacífico durante o período 1979-2016.

No norte do Chile, as chuvas são altamente irregulares em períodos sazonais e escalas anuais (Romero et al., 2013), sendo considerado uma das regiões mais áridas do mundo. Nessa região, a disponibilidade de água representa uma área importante a ser considerada pelos estudiosos e agentes formuladores de políticas em gestão hídrica (Sarricolea Espinoza & Romero Aravena, 2015). Vários estudos trazem evidências de que o comportamento das chuvas no Chile é afetado por diferentes fatores em distintas escalas de tempo (Valdés-Pineda et al., 2015).

Algumas pesquisas afirmam que a variabilidade temporal das precipitações na América do Sul está associada com o fenômeno do El Niño Oscilação Sul-ENOS (Freire et al., 2011; Valdés-Pineda et al., 2015; Barros et al., 2021). Portanto, existe a necessidade de compreender melhor o regime da precipitação pluviométrica, uma vez que a chuva faz parte do ciclo hidrológico, sendo fonte natural da água e tem importância na econômica dos países (Lehmann et al., 2015).

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) provoca variações e flutuações periódicas em escala interanual na América do Sul, com destaque na Amazônia, na região Nordeste (Araújo & Brito, 2011)

e na região Sul do Brasil (Rao & Hada, 1990). Os oceanos desempenham um papel muito importante para as condições do clima da Terra (Garrison, 2014). Existem diversos processos com diferentes escalas que afetam a média mensal de chuvas e contribuem para a geração de anomalias (Siqueira et al., 2023). Para os autores, muitos destes eventos estão associados a variáveis externas (como anomalias de TSM - Temperatura da Superfície da Terra), que contribuem para anos mais chuvosos ou mais secos em relação aos anos normais.

O Brasil cobre uma grande área e tem diversos regimes de chuvas. No Noroeste, a bacia Amazônica é caracterizada por chuvas excepcionalmente fortes, enquanto na região oriental a precipitação é modesta com uma extensa área semiárida no interior do Nordeste brasileiro (NE) (Rao & Hada, 1990). O Litoral NE brasileiro recebe boas quantidades de chuvas, enquanto o Sul do Brasil é caracterizado por chuvas espacialmente variáveis.

Diversos estudos realizados no mundo descrevem que a análise de registros de séries históricas mensais fornecem informações importantes sobre a precipitação de uma determinada região ou território (Berghuijs et al., 2017), podendo citar alguns trabalhos realizados na Europa (Panagos et al., 2015; Beranová & Kyselý, 2017), no Marrocos (Abahous et al., 2018) e na Etiópia (Gummadi et al., 2018) que integram o continente da África, em Shaanxi na China (Jiang et al., 2017) e na Korea (Kim et al., 2018) na Ásia, e na América do Sul (Ciemer et al., 2018). Portanto, entender o comportamento temporal da precipitação com a determinação de índices de variabilidade temporal, como o S_1 , permite a comunidade científica entender melhor essa lacuna, bem como melhorar a confiança e precisão nas simulações do clima no futuro (Nery et al., 2017; Meseguer-Ruiz et al., 2019).

Em estudo recente, com a finalidade de avaliar o processo de aceleração do ciclo hidrológico, Chagas et al. (2022) baseou-se em dados meteorológicos de 1980 a 2015 para investigar a variabilidade hidrológica no Brasil. Quanto a irregularidade, os autores observaram que os períodos de seca estão associados a diminuição de precipitação e ao aumento do uso de água na atividade de agrícola, já a aceleração do processo hidrológico, está fortemente ligada aos eventos de chuva extrema e desmatamento, principalmente no Sul da Amazônia.

Deve-se destacar neste estudo a baixa quantidade de publicações em base de dados científicos relacionados ao índice de irregularidade temporal, o que justifica, portanto, a contribuição do mesmo para futuros estudos de variabilidade temporal no território do Brasil, além de auxiliar com estudos na área de climatologia. No mais o estudo também aplica a metodologia baseado em um período determinado e área de estudo enviesando a aplicação deste a outras regiões com outros dados.

Esta pesquisa buscou determinar a variabilidade da precipitação por meio do índice de irregularidade temporal (S_1) no território do Brasil, considerando o registro de precipitação mensal, semestral e anual de 1306 estações pluviométricas no período de 1990 a 2022.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados pluviométricos

Foram utilizados os dados de chuva de 1306 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) do período de 1990 a 2022 distribuídas espacialmente ao longo do território brasileiro (Figura 1). Dados obtidos e analisados através do portal HidroWeb (Brasil, 2024). Foi adotado o critério de somente considerar as estações pluviométricas que apresentaram séries com mais de 25 anos de dados no período de 1991 a 2022.

Determinação do índice de irregularidade temporal (S_1)

A determinação do índice S_1 proposta por Martín-Vide et al. (2001), é definida pela equação (Equação 1):

$$S_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left| \ln \left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right) \right| \quad (1)$$

Onde P_i é a precipitação do ano, semestre ou mês i ; n é o número de anos na série de dados.

Segundo Martín-Vide (2003), quantidades muito similares de precipitação anual consecutiva resultam em índices S_1 próximo a zero. Por outro lado, valores consecutivos muito diferentes correspondem a altos valores de S_1 ($\geq 0,35$). Um pequeno problema com esse índice é que valores nulos de precipitação não podem ser usados para o cálculo de S_1 . Nesses casos pode-se assumir valores de precipitação de 1mm ou menos (0,5mm; 0,1mm). No presente estudo os valores nulos foram substituídos por 1,0 mm.

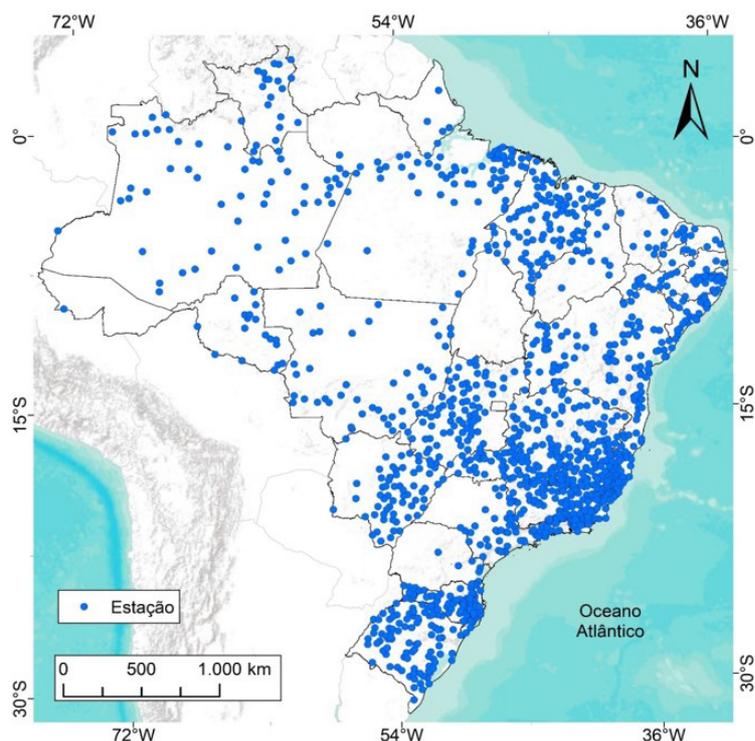


Figura 1: Distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.

O índice S_1 oscila entre zero e infinito, e valores próximos de zero indicam regularidade das chuvas, valores muito altos denotam maior irregularidade (Tabela 1). A partir da proposta por Martín-Vide (2003) dos valores anuais de classificação do S_1 , foi definido nesta pesquisa uma nova classe de S_1 para base mensal.

Tabela 1 - Classificação da irregularidade da precipitação em função do índice de irregularidade (S_1).

| Classe | Valor anual ou semestral S_1 | ¹ Valor mensal S_1 |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Muito baixa | < 0,20 | < 0,50 |
| Baixa | 0,20 - 0,24 | 0,50 - 0,70 |
| Moderada | 0,25 - 0,29 | 0,70 - 0,90 |
| Moderadamente alta | 0,30 - 0,34 | 0,90 - 1,10 |
| Alta | 0,35 - 0,39 | 1,10 - 1,30 |
| Muito alta | > 0,40 | > 1,30 |

Fonte: Adaptado de Siqueira & Nery (2021). ¹Nova faixa de valores de S_1 mensal.

O clima no Brasil é controlado por alguns fatores como a latitude, altitude, influência oceânica e os sistemas atmosféricos dinâmicos atuantes no extremo sul da América do Sul (Nery et al., 2017). Nesse viés, a variabilidade climática no território brasileiro é definida por três zonas climáticas (A, B e C) e nove tipos climáticos (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb) (Galatto et al., 2023; Back et al., 2024).

No trabalho de Novais & Machado (2023), o território brasileiro possui oito domínios climáticos, sendo o Equatorial, Equatorial Ameno, Tropical, Tropical Ameno, Subtropical, Temperado, Semiárido e Árido. Em termos de pluviometria média anual, são encontradas alturas pluviométricas que variam de 410mm localizados na região Nordeste brasileiro, especificamente no semiárido, à níveis 3.620mm na região Norte junto a floresta amazônica, ambas regiões com tipos climáticos BSh e Af, respectivamente (Galatto et al., 2023; Back et al., 2024).

Processamento dos dados espaciais

Foram espacializados em ambiente SIG os dados tabulares referentes aos índices anuais, semestrais e mensais de S_1 determinados, conforme as localizações das estações pluviométricas. Além da espacialização do índice S_1 , foram utilizados os dados que correspondem aos limites do território do Brasil, arquivos espaciais no formato shapefile provenientes do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023).

Foi aplicado na interpolação do índice S_1 o método de krigagem, método este indicado e bastante utilizado em outros estudos que envolvem a área da hidrologia e afins (Silvestre et al., 2016; Mello et al., 2003; Back et al., 2021). O método de krigagem possibilitou estimar através do índice S_1 amostrado, a informação para locais desprovidos. Por meio do SIG, foi possível identificar também o melhor semi-variograma para a representação dos resultados, dentre os quais o que apresentou menor erro foi o modelo “estável”, por apresentar valores RMSE (Root Mean Square Error) próximos a 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 está representado a variabilidade do índice de irregularidade temporal (S_1) em base mensal determinados no território brasileiro. Pode-se verificar que o clima na região do Nordeste brasileiro é marcado por uma reconhecida variabilidade temporal da precipitação, sendo expressado fortemente nos meses de janeiro a maio, setembro a dezembro, com o $S_1 > 1,30$ (Muito alto). Constata-se ainda uma nítida irregularidade espacial das chuvas, dentro do mesmo intervalo de tempo, porém, com variações nos meses de junho a agosto. Este padrão espacial é muito consistente do ponto de vista climático e geográfico.

Nóbrega & Santiago (2016) e Nóbrega (2012), descrevem que o clima no Nordeste brasileiro sofre influência de sistemas meteorológicos de meso e grande escala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS). Segundo os autores, devido a esses sistemas meteorológicos atuantes, resulta em volume anual de precipitação relativamente elevado, quando comparado com as outras regiões semiáridas, variando entre 400mm a 800mm, porém as concentrações destas chuvas ficam entre dois a quatro meses.

Os valores de S_1 encontrados para a região Sudeste apontam que nos meses de novembro e dezembro, variou de 0,5 a 1,10 (Muito baixa a Moderadamente alta). Já entre os meses de janeiro a abril, o valor foi de S_1 maior que 1,30 (Muito alto), especialmente no Norte do estado de Minas Gerais. Entre os meses de maio a outubro, houve variação de 0,5 a 1,30. Nos estudos realizados por Nery et al. (2017), foi identificado na região do Sudeste brasileiro uma acentuada sazonalidade das chuvas ao longo do ano, sendo uma região úmida no verão, devido ao sistema de monção da AS (sul-americano) (Vera et al., 2006), e com seca nos meses de inverno.

Na região Sul do Brasil, verifica-se que os valores mensais de S_1 são na sua maioria menores que 1,10 (Alto), exceto em maio (1,10 a 1,30 - Alto e Muito alto) junto a faixa litorânea e ao norte do estado de Santa Catarina, assim como no mês de janeiro no extremo Oeste do estado do Rio Grande do Sul. Nos demais meses (fevereiro a abril; junho a dezembro), o índice S_1 variou de 0,5 a 1,10 (Muito baixa a Moderadamente alta). Essa condição é percebida nos estudos de Rao & Hada (1990) onde constatou-se que as chuvas no sul do Brasil são bem distribuídas ao longo do ano e no Oeste junto à fronteira com o Paraguai devido as passagens constantes da Frente Fria Polar (Novais & Galvani, 2022).

Na região Centro-Oeste entre o período de outubro a março, os valores de S_1 concentram-se abaixo de 1,10, porém, predominando na faixa de 0,5 a 0,90 (Muito baixo a Moderado). Nos meses de abril a setembro, o S_1 ficou entre 0,70 e 1,30 (Moderado a Muito alto). Essa região situa-se entre os domínios climáticos quentes e úmidos, com expressiva variação térmica entre as estações de inverno e verão, apresentando variabilidade sazonal da umidade (Barros & Balero, 2012). Isso decorre da influência da ação de sistemas atmosféricos atuantes nessa região, como as massas de Equatorial Continental (Ec), Tropical Atlântica (Ta), Tropical Continental (Tc) e Polar Atlântica (Pa).

Na região Amazônica observa-se uma menor variação dos valores de índice S_1 entre os meses de janeiro a abril, sendo inferior a 0,70 (Baixo) na grande maioria do território, com exceção na maior parte do estado de Roraima. Entre os meses de maio a agosto, inverte a situação, onde se verifica que nos estados de Rondônia e Acre, e uma faixa dos estados do Amazonas e Pará, atinge valores de S_1 moderadamente alto (maior que 1,30). Nesse mesmo período, observa-se uma faixa com valores de S_1 inferiores a 0,70 junto a linha equatorial em direção ao norte dos estados do Amazonas, Roraima, Acre, Pará e Amapá.

Dentre os meses de setembro a dezembro, as variações de S_1 ficam na faixa de 0,50 a 1,30 na grande maioria do território brasileiro, exceto numa faixa litorânea junto aos estados do Pará, Amapá e Roraima, com S_1 acima de 1,10 (Moderadamente alta). Nas demais regiões do Norte do Brasil prevalecem valores abaixo de 0,70 (Baixo). Essas informações vêm em encontro com os estudos de Limberger & Silva (2016), onde descrevem que a variabilidade climática da chuva na bacia amazônica brasileira apresenta pico de chuvas entre os períodos de novembro a janeiro, no sudeste da bacia amazônica, até maio a julho, na extremidade norte da bacia.

Na análise dos índices de irregularidade temporal (S_1) de base mensal, observa-se que os valores mínimos considerando as 1306 estações, variam de 0 a 0,239, enquanto que os valores médios e máximos, variam de 0,77 a 1,26, e 2,116 a 2,75, respectivamente. Estes resultados indicam que cada estação pluviométrica tem uma variabilidade temporal única de padrão de irregularidade de precipitação.

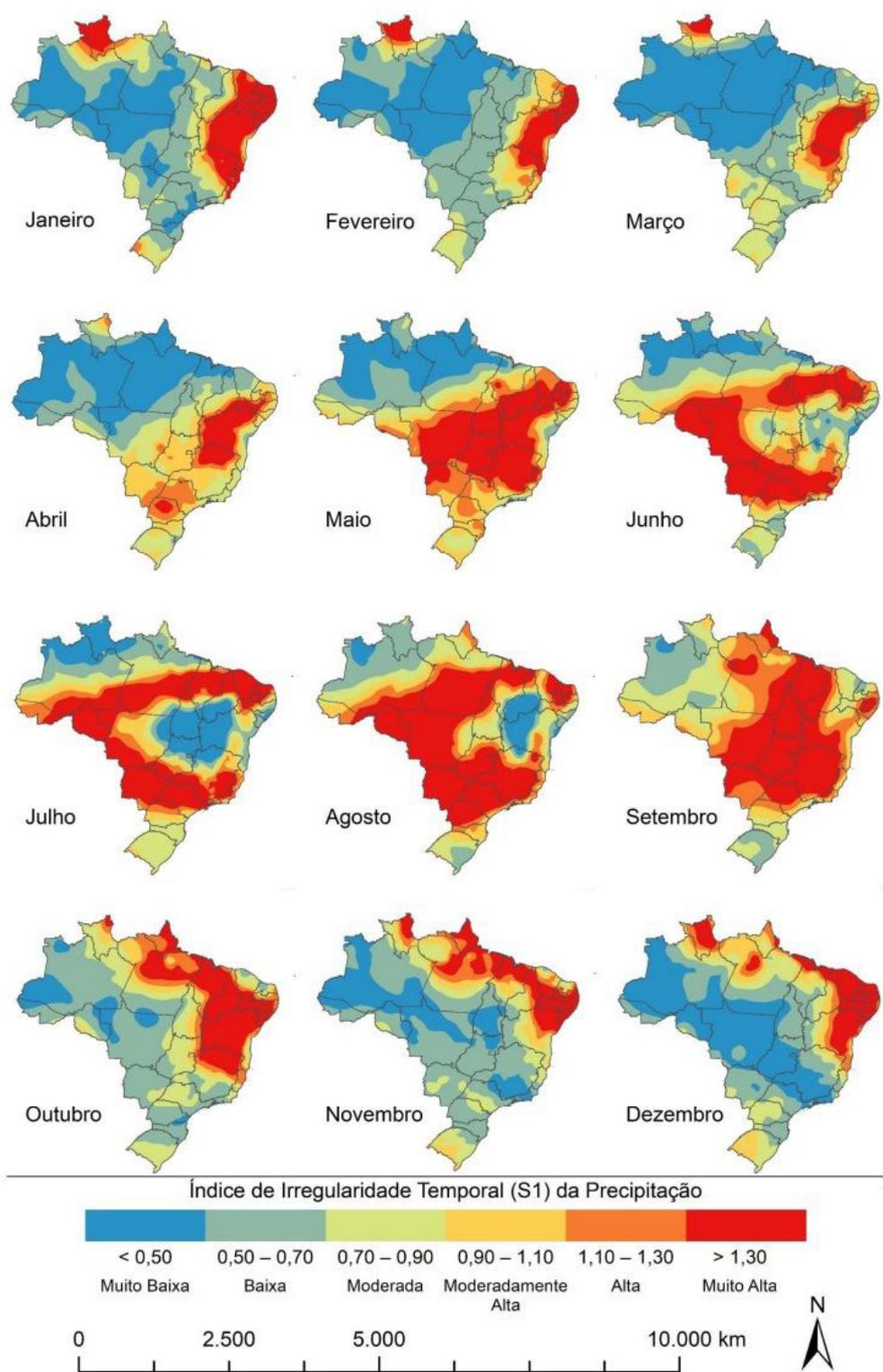


Figura 2: Espacialização do S_1 mensal (janeiro a dezembro) no território do Brasil.

Na Figura 3 consta o boxplot dos valores de S_1 calculados em intervalo mensal. Os valores variam de 0 no mês de julho e agosto a 2,755 no mês de janeiro. Em geral os meses de maio a setembro apresentam mediana mais elevada, com valores acima de 1,0, no entanto, apresentam menor dispersão e menor assimetria. No mês de abril, a mediana foi de 0,846 e nos demais meses inferior a 0,8, com menor valor em dezembro (mediana de 0,61).

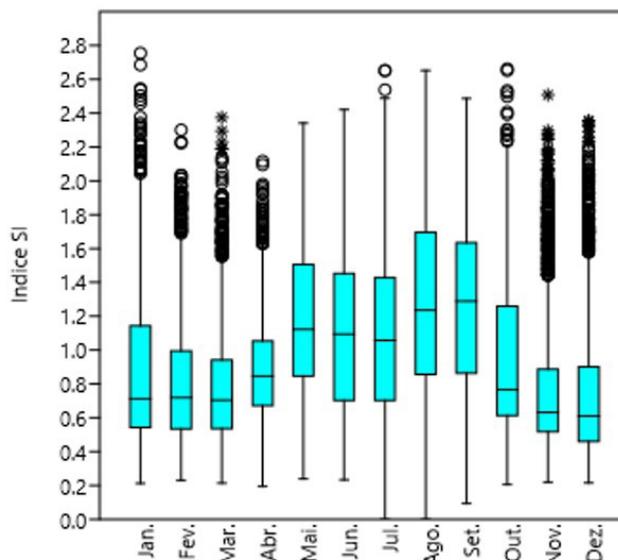


Figura 3: Box-Plot dos valores de S_1 calculados no intervalo mensal.

Avaliando os valores de S_1 na base semestral (Figura 4), verifica-se que no primeiro semestre tem-se uma irregularidade temporal da precipitação classificada como muito alta (maior que 0,40) em toda a região do Nordeste brasileiro. Soma-se a essa mesma classificação, o estado do Espírito Santo, a região norte dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, e no extremo noroeste do Rio Grande do Sul. A região sul caracteriza-se por apresentar S_1 entre 0,25 a 0,40, classificada como moderada a muito alta. A região Centro-Oeste apresenta faixas de valores de S_1 transitante de 0,20 a 0,39 (muito baixo a alto). No Sudeste varia entre as faixas de 0,25 a 0,40 (moderado a muito alto). E por fim, a região Norte predominando valores de S_1 que variam de 0,20 a 0,29 (muito baixo a moderado) em quase toda a região amazônica, com exceção a uma pequena faixa no extremo Norte do estado de Roraima, e no extremo Sudoeste dos estados de Rondônia e Acre.

No segundo semestre devido aos elementos e fatores climáticos mais intensos, como maior incidência solar, fotoperíodo e chuvas, associados a entrada das estações de primavera e verão, resulta em chuvas mais intensas especialmente sobre as regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste. Nesse viés, observa-se na que no segundo semestre, o índice de irregularidade temporal atinge as classes alta e muito alta, compreendida em todo o território do Nordeste brasileiro, boa parte do sudeste junto os estados de Espírito Santo e Minas Gerais, no Centro-Oeste distribuídos nos estados Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e no Norte do Brasil, predominantemente nos estados do Pará, Tocantins, Acre, Amapá e Roraima.

Em grande parte do território dos estados do Amazonas, Acre, Mato Grosso, Rondônia, Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro, no segundo semestre, apresenta baixa classificação de S_1 (Muito baixo a Moderado). Em análise aos valores médios e extremos de S_1 determinados entre as 1306 estações pluviométricas para o primeiro semestre, tem-se S_1 de 0,11 (mínimo), 0,35 (médio) e 0,99 (Máximo), enquanto que no segundo semestre variou entre 0,13 (mínimo), 0,37 (médio) a 1,78 (Máximo).

Esse comportamento da irregularidade temporal da precipitação observada em base semestral, tem relação com a sazonalidade das chuvas que atingem a América do Sul, com estação seca de junho a agosto, e estação chuvosa de dezembro a fevereiro (Zhou & Lau, 1998; Carvalho et al., 2011). Ciemer et al. (2018) destacam ainda que na América do Sul, o clima apresenta acentuadas diferenças entre as estações chuvosa e seca, associadas com características sinóticas específicas, como o estabelecimento da zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Este sistema atmosférico transporta umidade da Amazônia para o

oceano Atlântico subtropical, juntamente com a convergência de baixos níveis de ventos originados do oceano Atlântico subtropical (Liebmann et al., 2001).

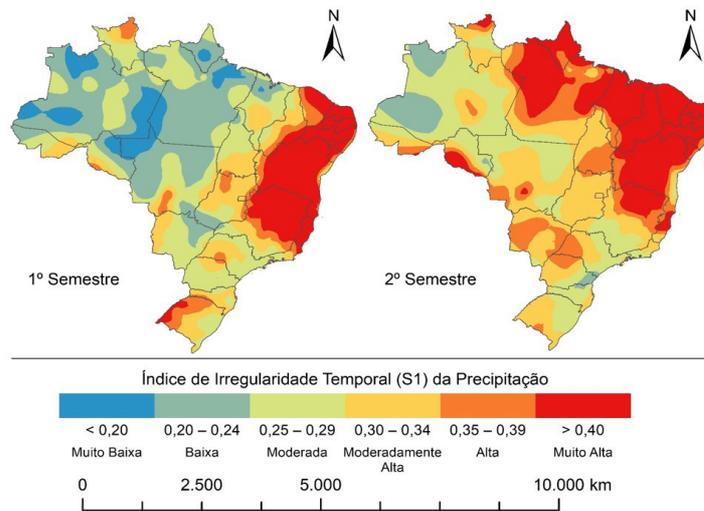


Figura 4: Espacialização do S₁ no primeiro e segundo semestre no território do Brasil.

O Nordeste brasileiro (NE) é caracterizado por uma maior irregularidade temporal da precipitação, deduzida de uma elevada concentração de precipitação em poucos meses no ano (Figura 5). Nas demais regiões do Brasil devido ao regime de chuvas bem distribuído, o índice S₁ fica na faixa entre 0,20 e 0,29 (Muito baixo a Moderado), exceto numa pequena faixa ao norte do estado de Roraima com S₁ de 0,34 (Moderadamente alta).

A condição encontrada no Nordeste brasileiro, bem como nas regiões com meses de S₁ com a irregularidade classificados como Alta, dificulta o planejamento e gestão de recursos hídricos para a agricultura, consumo humano, geração de energia elétrica, entre outros seguimentos. Segundo Rohr et al. (2013), Gessner et al. (2013) e Ferreira da Silva et al. (2020), um alto grau de disparidades consecutivas de variação temporal das chuvas, estressa os sistemas naturais, como em ecossistemas com vegetação e solo, bem como no armazenamento de carbono, como ocorre em climas sazonalmente secos.

Nesse aspecto, Martín-Vide et al. (2022) descrevem que a irregularidade da precipitação constitui um constrangimento para os sistemas naturais e as atividades socioeconômicas, particularmente em regiões com escassez de água.

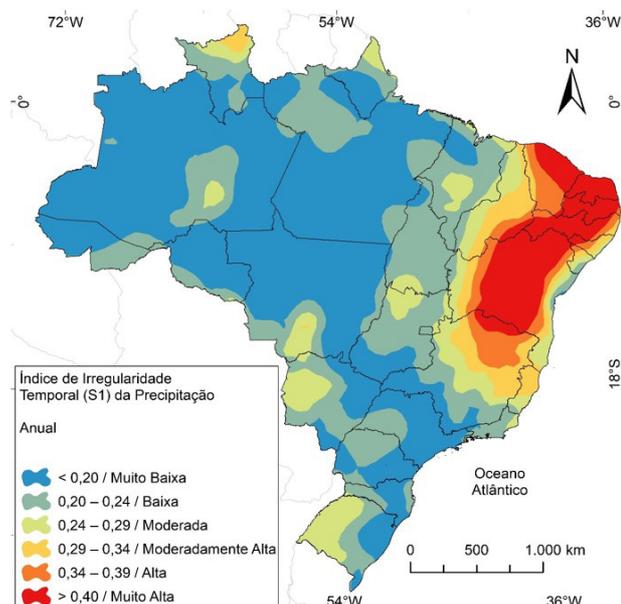


Figure 5: Espacialização do S₁ anual no território do Brasil.

Em termo gerais, os valores de S_1 determinados em base anual considerando as 1306 estações pluviométricas, tem mínimo de 0,088 (Muito baixo), média de 0,25 (Moderado) e máximo de 0,66 (Muito alto). Estes valores não estão elevados, quando em comparação aos obtidos na Espanha e no Chile (Martín-Vide et al., 2001; Sarricolea Espinoza & Martín-Vide, 2014). Nos estudos realizados por Martín-Vide et al. (2001) na Espanha, encontrou elevada irregularidade temporal da fachada mediterrânea oriental entre o sul da Catalunha e Almeria, com S_1 anual de 1,21 em Huesca e 1,88 em Murcia, constituindo uma grande variação. Por outro lado, os menores valores estão em uma faixa central meridiana. No Chile, os valores determinados de S_1 anual, variaram de 0,017 a 1,027 (Sarricolea Espinoza & Martín-Vide, 2014).

Os valores do índice S_1 calculado em intervalo anual variaram de 0,088 a 0,666, com média de 0,248 e mediana de 0,223. Nos valores semestrais percebe-se um aumento nos valores do índice S_1 . No primeiro semestre os valores variam de 0,110 a 0,994, com média de 0,347 e mediana de 0,318. No segundo semestre os valores variam de 0,133 a 1,784, com média de 0,374 e mediana de 0,324. Na Figura 6 pode-se observar que no segundo semestre ocorre maior dispersão nos valores de S_1 , com maior número de estações pluviométricas com valores de S_1 acima de 0,8 embora tenham média e mediana semelhantes.

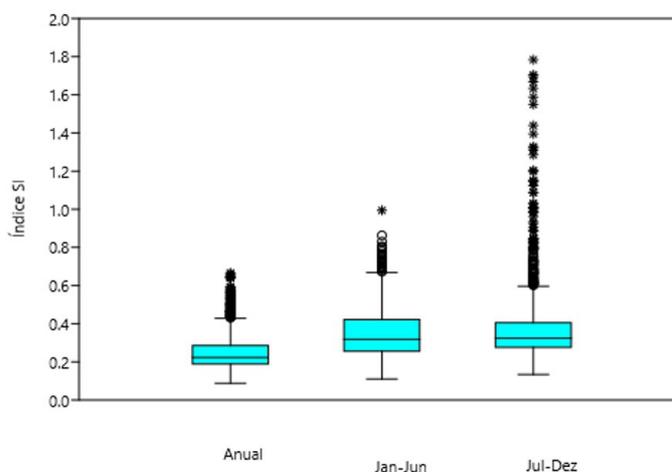


Figure 6: Box-Plot dos valores de S_1 calculados no intervalo anual e semestral.

CONCLUSÃO

As variações encontradas no índice S_1 nas bases mensal, semestral e anual no território brasileiro tem relação significativa com os diferentes climas encontrados no Brasil, que vão desde semiáridos a chuvosos. Observa-se na literatura científica que muitas abordagens são propostas e aplicadas à dados de precipitação pluviométrica em várias regiões do mundo para entender a variabilidade espaço-temporal, bem como planejar melhor os impactos de eventos extremos.

Os valores de S_1 na base semestral, indicaram que o segundo semestre possui maior irregularidade temporal da precipitação, o que acende um alerta para medidas mais eficazes na prevenção de impactos de eventos extremos. Na base mensal, os valores encontrados mostram as particularidades de cada região, que variam desde baixo a muito alto. Essa condição reflete aos diferentes sistemas atmosféricos atuantes que transpassam pelo território brasileiro durante o ano.

Em base anual, os valores do índice S_1 revelaram que as regiões Norte, Centro-Oeste e Sul tem menor irregularidade temporal, quando comparado as regiões do semiárido do Nordeste brasileiro. Essa situação corrobora com vários estudos de variabilidade espaço-temporal aplicando diferentes índices climáticos.

Por fim, o entendimento sobre a irregularidade temporal da precipitação determinada neste estudo propicia novos conhecimentos na área de climatologia, além de corroborar aos gestores, profissionais e pesquisadores que atuam com o planejamento de recursos hídricos na execução de medidas mais assertivas. O estudo utilizou dados de 1306 estações pluviométricas abrangendo o período entre 1990 a 2020, e aplicou um conceito pouco utilizado na literatura para determinar a irregularidade temporal da precipitação no Brasil.

REFERÊNCIAS

- Abahous, H., Ronchail, J., Sifeddine, A., Kenny, L., & Bouchaou, L. (2018). Trend and change point analyses of annual precipitation in the Souss-Massa Region in Morocco during 1932–2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(3-4), 1153-1163. <http://doi.org/10.1007/s00704-017-2325-0>

- Aguado, E., Cayan, D., Riddle, L., & Roos, M. (1992). Climatic fluctuations and the timing of west-coast streamflow. *Journal of Climate*, 5(12), 1468-1483. [http://doi.org/10.1175/1520-0442\(1992\)005<1468:CFATTO>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0442(1992)005<1468:CFATTO>2.0.CO;2)
- Araújo, W. D. S., & Brito, J. I. B. D. (2011). Índices de tendências de mudanças climáticas para os estados da Bahia e Sergipe por meio de índices pluviométricos diários e sua relação com TSM'S do Pacífico e Atlântico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(4), 541-554. <http://doi.org/10.1590/S0102-77862011000400004>
- Back, A. J., Souza, G. S., & Galatto, S. L. (2024). Analysis of the seasonality of rain in Brazil from 1990 to 2022. *Concilium*, 24(2), 172-190. <http://doi.org/10.53660/CLM-2770-24B27>
- Back, Á. J., Wildner, L. P., & Pereira, J. R. (2021). Chuvas intensas para projetos de conservação do solo e da água no estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, 34(2), 65-72. <http://doi.org/10.52945/rac.v34i2.1140>
- Barros, J. R., & Balero, C. S. (2012). A influência do clima e do tempo do Centro-Oeste do Brasil nas condições de voo na região. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, 1(2), 25-49. Recuperado em 25 de maio de 2024, de <https://repositorio.bc.ufg.br/items/e126d0ea-c2c6-4421-a418-7460660f2f02>
- Barros, V. S., Gomes, V. K. I., Silva Júnior, I. B., Silva, A. S. V., Silva, A. S. A., & Bejan, L. B. (2021). Análise de tendência do índice de precipitação padronizado em Recife-PE. *Research. Social Development*, 10(8), e52310817458. <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17458>
- Beranová, R., & Kyselý, J. (2017). Trends of precipitation characteristics in the Czech Republic over 1961-2012, their spatial patterns and links to temperature and the North Atlantic Oscillation. *International Journal of Climatology*, 38(S1), e596-e606. <http://doi.org/10.1002/joc.5392>
- Berghuijs, W. R., Aalbers, E. E., Larsen, J. R., Trancoso, R., & Woods, R. A. (2017). Recent changes in extreme floods across multiple continents. *Environmental Research Letters*, 12(11), 114035. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8847>
- Brasil. (2024). *Portal HidroWeb*. Brasília: Agência Nacional de Águas. Recuperado em 25 de maio de 2024, de <https://www.snirh.gov.br/hidroweb>
- Carvalho, L. M. V., Silva, A. E., Jones, C., Liebmann, B., Dias, P. L. S., & Rocha, H. R. (2011). Moisture transport and intraseasonal variability in the South America monsoon system. *Climate Dynamics*, 36(9-10), 1865-1880. <http://doi.org/10.1007/s00382-010-0806-2>
- Chagas, V. B. P., Chaffe, P. L. B., & Blöschl, G. (2022). Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. *Nature Communications*, 13(1), 5136. <http://doi.org/10.1038/s41467-022-32580-x>
- Ciemer, C., Boers, N., Barbosa, H. M. J., Kurths, J., & Rammig, A. (2018). Temporal evolution of the spatial covariability of rainfall in South America. *Climate Dynamics*, 51(1-2), 371-382. <http://doi.org/10.1007/s00382-017-3929-x>
- Di Giulio, G. M., Torres, R. R., Vasconcellos, M. da P., Braga, D. R. G. C., Mancini, R. M., & Lemos, M. C. (2019). Eventos extremos, mudanças climáticas e adaptação no Estado de São Paulo. *Ambiente & Sociedade*, 22, e02771. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0277r1vu19L4A0>
- Ely, D. F., & Dubreuil, V. (2017). Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná - Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21(13), 553-569. <http://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.48643>
- Ferreira da Silva, G. J., Oliveira, N. M., Santos, C. A. G., & Silva, R. M. (2020). Correction: Spatiotemporal variability of vegetation due to drought dynamics (2012–2017): a case study of the Upper Paraíba River basin, Brazil. *Natural Hazards*, 102(3), 939-964. <http://doi.org/10.1007/s11069-020-03940-x>
- Freire, J. L. M., Lima, J. R. A., & Cavalcanti, E. P. (2011). Análise de aspectos meteorológicos sobre o nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3(3), 429-444. <http://doi.org/10.26848/rbgf.v4i3.232719>
- Galatto, S. L., Souza, G. S., & Back, A. J. (2023). Index of rain aggressiveness and erosivity in different climate types in Brazil. *Concilium*, 23(6), 170-183.
- Garrison, T. S. (2014). *Essentials of oceanography* (7th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Gessner, U., Naeimi, V., Klein, I., Kuenzer, C., Klein, D., & Dech, S. (2013). The relationship between precipitation anomalies and satellite-derived vegetation activity in Central Asia. *Global and Planetary Change*, 110, 74-87. <http://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.09.007>
- Gummadi, S., Rao, K. P. C., Seid, J., Legesse, G., Kadiyala, M. D. M., Takele, R., Amede, T., & Whitbread, A. (2018). Spatio-temporal variability and trends of precipitation and extreme rainfall events in Ethiopia in 1980-2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(3-4), 1315-1328. <http://doi.org/10.1007/s00704-017-2340-1>

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2023). *Malha municipal*. Recuperado em 6 de abril de 2023, de <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?et=downloads>
- Jiang, R., Xie, J., Zhao, Y., He, H., & He, G. (2017). Spatiotemporal variability of extreme precipitation in Shaanxi province under climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(3-4), 831-845. <http://doi.org/10.1007/s00704-016-1910-y>
- Kim, T., Shin, J. Y., Kim, S., & Heo, J. H. (2018). Identification of relationships between climate indices and long-term precipitation in South Korea using ensemble empirical mode decomposition. *Journal of Hydrology*, 557, 726-739. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.069>
- Klik, A., & Truman, C. C. (2003). What is a typical rainstorm? In D. Gabriels & W. Cornelis (Orgs.), *Proceedings of the International Symposium: 25 Years of Assessment of Erosion* (pp. 93-98). Ghent, Belgium.
- Lehmann, J., Coumou, D., & Frieler, K. (2015). Increased recordbreaking precipitation events under global warming. *Climatic Change*, 132(4), 501-515. <http://doi.org/10.1007/s10584-015-1434-y>
- Liebmann, B., Jones, C., & Carvalho, L. M. (2001). Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of Sao Paulo, Brazil. *Journal of Climate*, 14(2), 208-218. [http://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0208:IVODEP>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0208:IVODEP>2.0.CO;2)
- Limberger, L., & Silva, M. E. S. (2016). Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. *Geosp - Espaço e Tempo*, 20(3), 657-675. <http://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2016.105393>
- López-Moreno, J. I., Vicente, S., Gimeno, L., & Nieto, R. (2009). Stability of the seasonal distribution of precipitation in the Mediterranean Region: observations since 1950 and projections for the 21st century. *Geophysical Research Letters*, 36(L10703), 2009GL037956. <http://doi.org/10.1029/2009GL037956>
- Marcuzzo, F. F. N., & Goularte, E. R. P. (2012). Índice de anomalia de chuvas do estado do Tocantins. *Geoambiente*, 19(1), 57-71. Recuperado em 25 de maio de 2024, de http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/14834/1/art_indice_marcuzzo.pdf
- Martin-Vide, J. (2003). *El tiempo y el clima* (127 p.). Valant: Rubes.
- Martín-Vide, J., Prohom, M., Bohigas, M., Penã, J. C., Esteban, P., & Montserrat, D. (2001). Índices de irregularidade temporal y dimensión fractal de la precipitación anual en España. In A. J. Pérez Cueva, E. López Baeza & J. Tamayo Carmona (Eds.), *El tiempo del clima* (pp. 157-166). Valencia: Asociación Española de Climatología. Recuperado em 25 de maio de 2024, de <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9205>
- Martín-Vide, J., Lopez-Bustins, J. A., Lemus, M., Moreno-Garcia, M. C., Balagué, X., Gonzalez-Hidalgo, J. C., Beguería, S., Pena-Ángulo, D., & Trullenque, V. (2022). The consecutive disparity of precipitation in conterminous Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(3-4), 1151-1161. <http://doi.org/10.1007/s00704-021-03877-6>
- Mello, C. R., Lima, J. M., Silva, A. M., Mello, J. M., & Oliveira, M. S. (2003). Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27(5), 925-933.
- Melo, V. S., & Lima, L. M. (2021). Caracterização da chuva da microrregião de Catolé do Rocha no Estado da Paraíba baseada em estatística aplicada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(1), 97-106. <http://doi.org/10.1590/0102-77863610006>
- Meseguer-Ruiz, O., Ponce-Philimon, P., Guijarro, J. A., & Sarricolea, P. (2019). Spatial distribution and trends of diferente precipitation variability índices based on daily data in Northern Chile between 1966 and 2015. *International Journal of Climatology*, 39(12), 4595-4610. <http://doi.org/10.1002/joc.6089>
- Nery, J. T., Carfan, A. C., & Martin-Vide, J. (2017). Analysis of rais variability using the daily and monthly concentration indexes in southeastern Brazil. *Atmospheric and Climate Science*, 7(2), 176-190. <http://doi.org/10.4236/acs.2017.72013>
- Niyogi, D., Lei, M., Kishtawal, C., Schmid, P., & Shepherd, M. (2017). Urbanization impacts on the summer heavy rainfall climatology over the Eastern United States. *Earth Interactions*, 21(5), 1-17. <http://doi.org/10.1175/EI-D-15-0045.1>
- Nóbrega, J. N. (2012). *Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões do estado da Paraíba e suas relações com a TSM dos oceanos atlântico e pacífico* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

- Nóbrega, R. S., & Santiago, G. A. C. F. (2016). Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande*, (63), 9-26. <http://doi.org/10.4067/S0718-34022016000100002>
- Novais, G. T., & Galvani, E. (2022). Uma tipologia de classificação climática aplicada ao estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, 42, e184630. <http://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.184630>
- Novais, G. T., & Machado, L. A. (2023). Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32, 1-39. <http://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M. P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., & Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *The Science of the Total Environment*, 511, 801-814. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Paredes, D., Trigo, R. M., Garcia-Herrera, R., & Franco-Trigo, I. (2006). Understanding Precipitation Changes in Iberia in Early Spring: weather typing and storm tracking approaches. *Journal of Hydrometeorology*, 7(1), 101-113. <http://doi.org/10.1175/JHM472.1>
- Rao, V. B., & Hada, K. (1990). Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42(2), 81-91. <http://doi.org/10.1007/BF00868215>
- Rohr, T., Manzoni, S., Feng, X., Menezes, R., & Porporato, A. (2013). Effect of rainfall seasonality on carbon storage in tropical dry ecosystems. *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences*, 118(3), 1156-1167. <http://doi.org/10.1002/jgrg.20091>
- Romero, H., Smith, P., Mendonça, M., & Méndez, M. (2013). Macro y mesoclimas del altiplano andino y desierto de Atacama: desafíos y estrategias de adaptación social ante su variabilidad. *Revista de Geografía Norte Grande*, 55(55), 19-41. <http://doi.org/10.4067/S0718-34022013000200003>
- Sarricolea Espinoza, P., & Martín-Vide, J. (2014). Spatial analysis of rainfall daily trends and concentration in Chile. *Investigaciones Geográficas*, 47(7), 53-66. <http://doi.org/10.5354/0719-5370.2014.32995>
- Sarricolea Espinoza, P., & Romero Aravena, H. (2015). Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 62(62), 169-183. <http://doi.org/10.4067/S0718-34022015000300010>
- Silvestre, M. R., Flores, E. F., & Sant'Anna Neto, J. L. (2016). Geoestatística aplicada à espacialização da precipitação. *Revista Formação*, 3(23), 317-338. <http://doi.org/10.33081/formacao.v3i23.4272>
- Siqueira, B., & Nery, J. T. (2021). Spatial and temporal variability of precipitation concentration in northeastern Brazil Variabilidad espacial y temporal de la concentración de precipitación en el noreste de Brasil. *Investigaciones Geográficas*, (104), e60091. <http://doi.org/10.14350/rig.60091>
- Siqueira, B., Nery, J. T., & Carfan, A. C. (2023). Relationship between the rainfall index for Southern Brazil and the indexes of the Tropical Pacific and the Tropical Atlantic Oceans. *Acta Scientiarum. Technology*, 45, e58368. <http://doi.org/10.4025/actascitechnol.v45i1.58368>
- Souza, T. S., & Nascimento, P. S. (2020). Análise da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica na região hidrográfica do Recôncavo Sul (BA). *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 1-18. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68353>
- Valdés-Pineda, R., Valdés, J. B., Diaz, H. F., & Pizarro-Tapia, R. (2015). Analysis of spatio-temporal changes in annual and seasonal precipitation variability in South America-Chile and related ocean-atmosphere circulation patterns. *International Journal of Climatology*, 36(8), 2979-3001. <http://doi.org/10.1002/joc.4532>
- Vera, C., Higgins, W., Ambrizzi, T., Amador, J., Garreaud, R., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J., & Mechoso, C. R. (2006). Toward a unified view of the American Monsoon systems. *Journal of Climate*, 19(20), 4977-5000. <http://doi.org/10.1175/JCLI3896.1>
- Zappalà, D. A., Barreiro, M., & Masoller, C. (2018). Quantifying changes in spatial patterns of surface air temperature dynamics over several decades. *Earth System Dynamics: ESD*, 9(2), 383-391. <http://doi.org/10.5194/esd-9-383-2018>
- Zhou, J., & Lau, K. (1998). Does a monsoon climate exist over South America. *Journal of Climate*, 11(5), 1020-1040. [http://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<1020:DAMCEO>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<1020:DAMCEO>2.0.CO;2)

Contribuições dos autores:

Álvaro José Back: originou a ideia, realizou a preparação dos dados e analisou os resultados.

Sérgio Luciano Galatto: analisou e discutiu os resultados e redigiu a primeira versão do manuscrito.

Gabriel da Silva Souza: realizou a espacialização dos dados e preparou as figuras através das ferramentas do geoprocessamento.