Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

TENDÊNCIA E VARIABILIDADE DA CHUVA NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Rainfall trend and variability in Rio Grande do Sul, Brazil

Tendencia y variabilidad de la lluvia en Rio Grande do Sul, Brasil

Aryane Araujo Rodrigues
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
aryane_03.2@hotmail.com

Tirzah Moreira Siqueira
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
tirzahsiqueira@hotmail.com

Tamara Leitzke Caldeira Beskow
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

Samuel Beskow
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
samuelbeskow@gmail.com

André Becker Nunes
Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
beckernunes@gmail.com

Resumo: Compreender o comportamento da chuva frente às mudanças climáticas é fundamental para mitigar seus efeitos e melhorar a gestão dos recursos naturais. Assim, este estudo investigou as tendências temporais e a variabilidade da chuva no Rio Grande do Sul, Brasil. Foram analisadas 271 séries de Precipitação Total Anual (PTA), Precipitação Total Mensal (PTM) e Precipitação Diária Máxima Anual (PMDA) (1912 a 2018). Os testes Mann-Kendall, Sen's Slope e Pettitt foram empregados para análise de tendência, e o Índice Padronizado de Anomalias de Chuva (IAC) e o Índice de Concentração de Precipitação (ICP) para análise de variabilidade. Foram encontradas tendencias de aumento significativo 42 séries de PTA e de diminuição em 3. O teste Pettit mostrou o ano de mudança em 30 das 45 séries de PTA. Em relação à PMDA, observou-se tendência de aumento em 27 séries e

diminuição em 8, e o ano de mudança foi encontrado em 18 das 35 séries. O IAC variou entre -3,55 e 2,88, mas na maioria dos anos a PTA foi “aproximadamente normal”. O ICP anual mostrou que a PTA foi uniforme nos meses da maioria dos anos. No Norte a primavera tem a melhor distribuição das chuvas, enquanto no Sul, o inverno. A distribuição da PTM é mais irregular no outono, e no verão a PTM é mais irregular na mesorregião sudoeste. Diante das consequências das mudanças na chuva, destaca-se a importância desses estudos para subsidiar a gestão dos recursos naturais, mitigando os impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes das mudanças climáticas.
Palavras-chave: Estacionariedade. Chuvas intensas. Anomalias. Teste Mann-Kendall. Teste Pettitt.

Abstract: Understanding the behavior of precipitation in face of climate change is crucial for mitigating its effects and improving the management of natural resources. Thus, this study investigated the temporal trends and variability of rainfall in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. 271 series of Annual Total Rainfall (ATR), Monthly Total Rainfall (MTR), and Annual Maximum Daily Rainfall (AMDR) were analyzed (1912 to 2018). Mann-Kendall, Sen’s Slope, and Pettitt's tests were employed for temporal trend analysis, and the Standardized Index of Rainfall Anomalies (SRAI) and the Precipitation Concentration Index (PCI) for variability analysis. A significant increasing trend of ATR was found in 42 series, and a decrease in 3 series. Pettit's test showed the changing year in 30 of 45 ATR's series. Regarding AMDR, an increasing trend was observed in 27 series and a decrease in 8, and the year of change was found in 18 of the 35 séries. The SRAI varied between -3.55 and 2.88, but in most years ART was “near normal”. The annual PCI showed that ART was uniformly distributed over the months in most years. In the North of RS spring has the best distribution of rainfall, while in the South, winter. MTR distribution is more irregular during the Autumn, and in Summer MTR is most irregular in the southwest mesoregion. Given the consequences of changes in rainfall, the importance of studies like this is highlighted for supporting the natural resources management, as the mitigation of socioeconomic and environmental impacts resulting from climate changes.
Keywords: Stationarity. Heavy rainfall. Anomalies. Mann Kendall’s test. Pettitt’s test.

Resumen: Entender el comportamiento de la lluvia ante el cambio climático es fundamental para mitigar sus efectos y mejorar la gestión de los recursos naturales. Así, este estudio investigó las tendencias temporales y la variabilidad de la lluvia en Rio Grande do Sul, Brasil. Se analizaron 271 series de Precipitación Total Anual (PTA), Precipitación Total Mensual (PTM) y Precipitación Máxima Diaria Anual (PMDA) (1912 a 2018). Se utilizaron las pruebas de Mann-Kendall, Sen’s Slope y Pettitt para el análisis de tendencia, y el Índice de Anomalías de Lluvia (IAC) y el Índice de Concentración de Precipitación (ICP) para el análisis de variabilidad. Se encontraron tendencias significativas positivas en 42 series de PTA y negativas en 3. La prueba de Pettit mostró el año de cambio en 30 de las 45 series de PTA. Relativo a PMDA, se observó una tendencia de aumento en 27 series y una disminución en 8, y el año de cambio se encontró en 18 de las 35 series. El IAC osciló entre -3,55 y 2,88, pero en la mayoría de los años el PTA fue “aproximadamente normal”. El ICP anual mostró que la PTA fue uniforme en los meses de la mayoría de los años. En el Norte, la primavera presenta la mejor distribución de las lluvias, mientras que en el Sur, el invierno. La distribución de PTM es más irregular en otoño, y en verano la PTM es más irregular en la mesorregión suroeste. Dadas las consecuencias de los cambios en las precipitaciones, se destaca la importancia de estos estudios para apoyar la gestión de los recursos naturales, mitigando los impactos derivados del cambio climático.
Palabras clave: Estacionariedad. Lluvias intensas. Anomalías. Prueba de Mann-Kendall. Prueba de Pettitt.

Submetido em: 27/07/2022
Aceito para publicação em: 03/12/2022
Publicado em: 10/01/2023

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global e as mudanças climáticas são considerados os problemas ambientais mais sérios do século 21, particularmente nos países em desenvolvimento (BIRARA et al., 2018). De acordo com o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), impactos já podem ser notados em diversos locais do planeta, como as mudanças nos eventos extremos meteorológicos e climáticos (IPCC, 2014).

Foram constatadas tendências de aumento na temperatura média global, em 0,85°C no período de 1880 a 2012, e nos eventos extremos de chuva mais intensos e frequentes em locais de latitude média e tropicais úmidos (IPCC, 2014). No Brasil, o cenário climático é similar à tendência global, com mudanças significativas na temperatura, nos padrões de chuva e nos extremos climáticos como secas, enchentes e inundações (ASSIS et al., 2012).

No contexto da variabilidade climática, a precipitação é uma das variáveis mais importantes, pois seu comportamento influencia a dinâmica ambiental, econômica e social. Informações sobre esta variável são utilizadas no planejamento e gestão dos recursos naturais, porém suas consequências em situações extremas como secas, inundações em áreas rurais e urbanas, erosão e deslizamentos de terra, podem ocasionar sérias perdas e danos às atividades socioeconômicas e ao meio ambiente (SOARES et al., 2014; OLIVEIRA, 2019).

Conforme Birara et al. (2018), nos países em desenvolvimento, a produção agrícola continua sendo a principal fonte de renda na maioria das áreas rurais. Atualmente, a região Sul do Brasil tem boa parte da economia associada ao agronegócio e a variabilidade climática da região pode determinar anos favoráveis ou de prejuízo à produção agrícola. No Rio Grande do Sul, aproximadamente 10% do Produto Interno Bruto (PIB) é de origem agrícola (IBGE, 2014). Contudo, grande parte das áreas agrícolas não são irrigadas, tornando as lavouras altamente dependentes da chuva que ocorre durante o desenvolvimento da cultura (CERA; FERRAZ, 2015; RADIN et al., 2018).

Assim, perante os efeitos das mudanças climáticas, adaptações em diversos setores da economia serão cruciais para proteger os meios de produção e garantir, por exemplo, a segurança alimentar. Uma vez que a variabilidade e as tendências da chuva são mencionadas frequentemente como facilitadores de vários problemas socioeconômicos e ambientais, e

diante da incerteza na dinâmica dos processos hidrológicos, estudos vêm sendo conduzidos a fim de investigar o comportamento espacial e temporal da precipitação (BIRARA et al., 2018; SOBRAL et al., 2018).

A variabilidade da precipitação pode ser analisada por meio de estatísticas simples ou de índices climáticos para verificar as anomalias e sua distribuição ao longo do ano. Já as mudanças e tendências temporais nas séries hidrológicas são examinadas utilizando-se de testes paramétricos e não-paramétricos (ASFAW et al., 2018). Para este fim, testes não-paramétricos como o de Mann-Whitney (MANN; WHITNEY, 1947), de Friedman (FRIEDMAN, 1937), de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL,1975), Sen's Slope (SEN, 1968; THEIL, 1992) e Pettitt (PETTITT, 1979) são os mais frequentemente utilizados por não exigirem que os dados obedeçam a uma distribuição normal, além de serem mais resistentes a mudanças abruptas e falhas nas séries (ONYUTHA, 2016).

Ao redor do mundo, diversos estudos apontam para mudanças nos padrões de precipitação. Bari et al. (2016) verificaram um aumento da chuva pré e pós período de monções, em quase todas as estações, na região Norte de Bangladesh. Amiri e Mesgari (2017) modelaram a variabilidade temporal da chuva no Nordeste do Irã, utilizando o Índice de Concentração da Precipitação (ICP), e encontraram alta variabilidade interanual da precipitação total anual média. Asfaw et al. (2018), analisando a variabilidade e tendência temporal em séries de precipitação e temperatura no Norte da Etiópia, constataram uma variabilidade interanual e intra-anual da precipitação anual, segundo o ICP, e o Índice Padronizado de Anomalias da Chuva (IAP) demonstrou um aumento no número de anos secos. Além disso, com o teste Mann-Kendall, foi observada a tendência significativa de aumento na temperatura média. No entanto, podem existir variações temporais e espaciais entre regiões climaticamente diferentes, tendo em vista que as mudanças globais não são uniformes (AKINSANOLA et al., 2015).

Segundo Sobral et al. (2018), o Brasil sofre constantemente com eventos extremos, com ênfase na ocorrência de chuvas intensas, enchentes, deslizamentos de terra e secas. Pinheiro et al. (2013), analisando séries de precipitação de 18 postos pluviométricos na região Sul do Brasil, encontraram tendências significativas de aumento em 16. Silva et al. (2017) estudaram a variabilidade do IAP no Nordeste brasileiro entre 1975 e 2016, e constataram uma diminuição no regime pluviométrico nos últimos sete anos. Gonçalves e Back (2018)

investigaram a variabilidade e tendências na precipitação do Sul do Brasil, e verificaram que no extremo Sul as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, porém no Norte existe uma estação mais chuvosa que vai da primavera ao outono. Além disso, o verão é a estação na qual houve o maior número de séries com tendência de aumento da precipitação, em contrapartida com o outono, no qual a tendência é de redução. Já Sobral et al. (2018), avaliando a variabilidade espacial e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro, averiguaram que a chuva total anual da região Norte possui alta variabilidade.

Diante dos efeitos das mudanças climáticas globais, é evidente a necessidade de compreender o comportamento espacial e temporal da precipitação, para antever cenários futuros e auxiliar no planejamento e gestão da água e outros recursos naturais. Portanto, o objetivo desse estudo foi investigar as tendências e a variabilidade espaço-temporal da chuva no estado do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

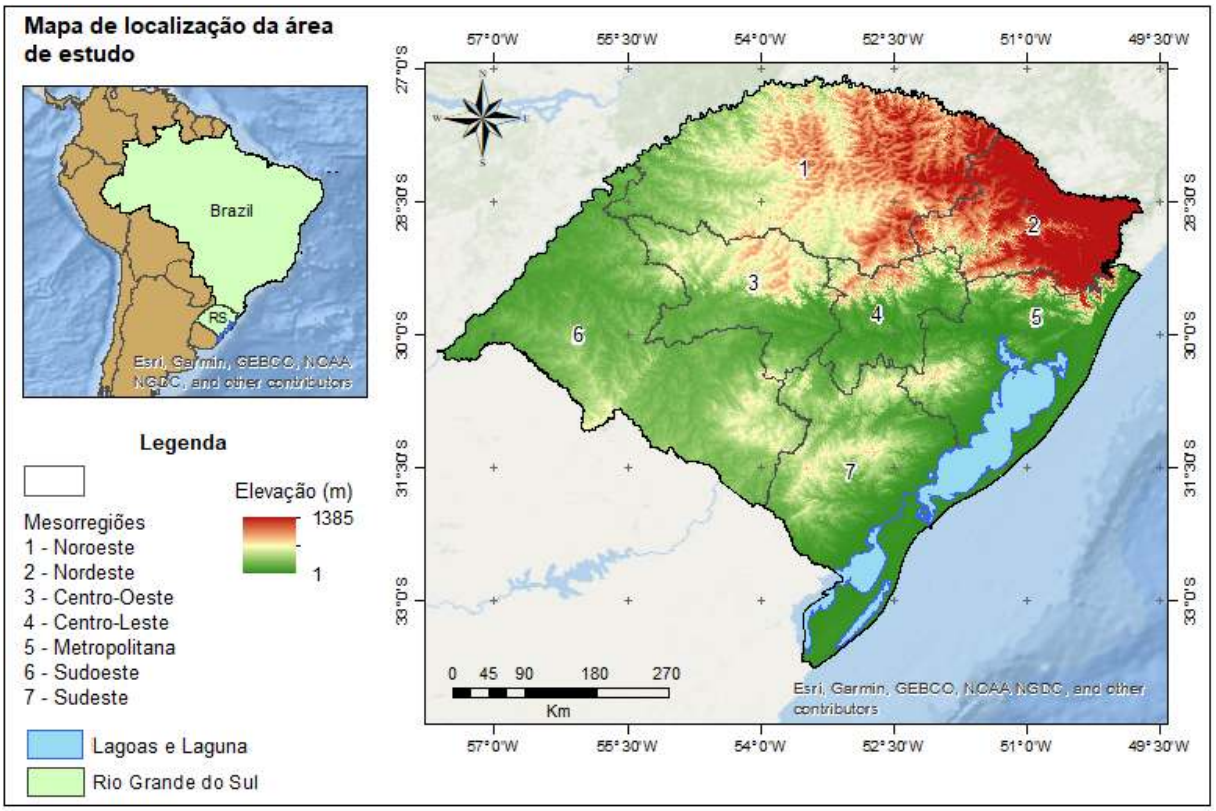
2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O estado do Rio Grande do Sul (RS) localiza-se na região Sul do Brasil (Figura 1), entre as longitudes -49º e -58º e latitudes -27º e -34º. Sua área é de aproximadamente 282,000 km², que se subdivide em 497 municípios, e a população estimada em 2019 é de 11 milhões de habitantes (IBGE, 2019).

O relevo do RS (Figura 1) é composto por planaltos, depressões, serras e pela planície costeira. No que tange à vegetação, é característica de dois importantes biomas brasileiros: a Mata Atlântica e o Pampa. A Mata Atlântica está presente na porção Norte-Nordeste do RS, ocupando 37% do território. Porém, atualmente, restam somente 7,5% de áreas remanescentes de Mata Atlântica e com alto grau de fragmentação em relação à cobertura vegetal original. Já o Pampa recobre 63% do território e se estende por toda metade Sul e fronteira oeste (ROESCH et al., 2009; IBGE 2019), com a presença de gramíneas, plantas rasteiras e algumas árvores, arbustos e formações florestais não dominantes (KUPLICH et al., 2018). Estes dois biomas são considerados os mais ameaçados do Brasil em relação as suas áreas originais (SEPLAN, 2019).

Figura 1 – Localização da área de estudo e seu relevo, ilustrado pelo modelo digital de elevação.



Fonte: os autores.

Segundo Fritzsons et al. (2015), o clima do RS é influenciado principalmente pelo relevo, altitude, latitude e distância em relação ao mar. Kuinchtner e Buriol (2001), utilizando a classificação climática de Köppen, enquadraram o clima do estado nos tipos Cfa e Cfb: subtropical úmido e superúmido em todas as estações do ano, com verão quente e moderadamente quente, respectivamente. O clima Cfa é predominante no estado, e o clima Cfb ocorre nas partes mais elevadas do Planalto e das Serras do Nordeste e do Sudeste.

A precipitação é bem distribuída ao longo do ano, pois o estado está localizado em uma faixa de latitudes médias que recebe sistemas precipitantes de origem tropical e extratropical (SATYAMURTY et al., 1998; GRIMM, 2009; NUNES; PEREIRA, 2017). No entanto, a precipitação média mensal não é espacialmente homogênea e varia sazonalmente. Conforme Reboita et al. (2010), geralmente a metade Norte do RS apresenta maiores valores de precipitação, exceto no semestre mais frio, cuja maior presença de massas de ar polar de Sul deixa a distribuição da precipitação mais homogênea, fazendo com que o Sul do estado apresente seus maiores volumes neste período.

No semestre quente (de outubro a abril), ganham importância as chuvas convectivas devido a sistemas convectivos de origem continental, oriundos de aquecimento superficial e transporte de Norte (REBOITA et al., 2010). O escoamento de Norte, proveniente da Amazônia, transporta calor e umidade para a planície do Chaco, retroalimentando o centro de baixa pressão continental (SALIO et al., 2007). Tal sistema atua como uma fonte de sistemas convectivos (SELUCHI; SAULO, 2012) que, transportados pelo escoamento de oeste em altos níveis, atingem o RS frequentemente e, especialmente, a metade Norte (VELASCO; FRITSCH, 1987; GRIMM, 2009). É comum que o centro de baixa pressão continental evolua para um ciclone extratropical na costa do Uruguai (GAN; RAO, 1991), passando pelo RS e acarretando em instabilidade (CABALLERO et al., 2018). Além disso, ocorrem alterações no regime da precipitação quando da ocorrência de fenômenos como o La Niña e El Niño - Oscilação Sul (ENOS) (MATZENAUER et al., 2017).

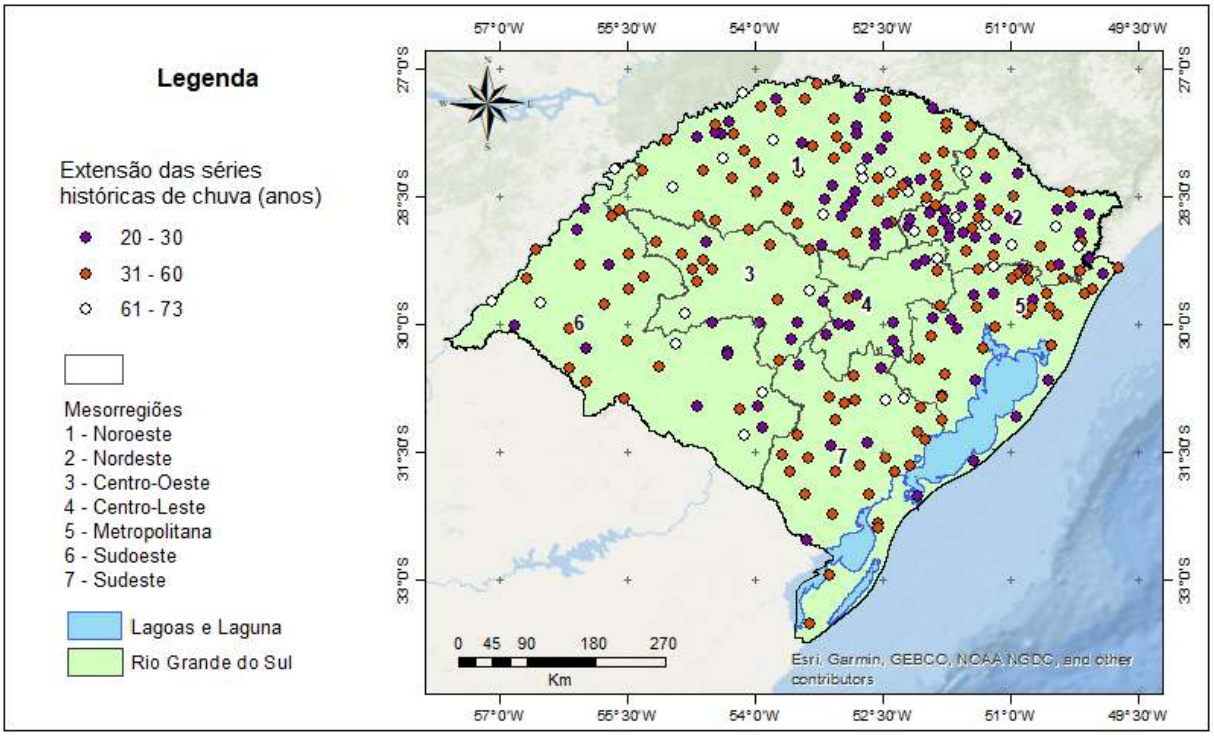
2.2. Dados hidrológicos

Foram adquiridas, junto ao HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), séries históricas de precipitação total diária de 554 postos pluviométricos. Estudos conduzidos no Brasil têm utilizado séries com no mínimo 10 anos de observações (BESKOW et al., 2015), pois o monitoramento hidrológico em países em desenvolvimento ainda enfrenta obstáculos como a baixa densidade pluviométrica e inconsistências dos dados (OLIVEIRA, 2019).

Neste estudo, no entanto, foram consideradas séries com extensão entre 20 e 73 anos após o processamento seguindo os critérios de falha. Assim, foram constituídas séries históricas das variáveis Annual Total Rainfall (PTA) e Annual Maximum Daily Rainfall (PMDA), considerando os anos com até 30 dias de falha, e de Monthly Total Rainfall (PTM), considerando meses com até 3 dias. O processamento foi realizado no *System of Hydrological Data Acquisition and Analysis* (SYHDA) (VARGAS et al., 2019).

Do processamento das séries de chuva diária de 554 postos pluviométricos, foram obtidas séries de PTA, PMDA e PTM de 271 postos, tendo sido essas séries utilizadas no estudo de tendências e variabilidade da chuva no RS. A distribuição espacial dos 271 postos pluviométricos e a extensão das séries históricas podem ser visualizadas na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos cujos dados atenderam aos critérios estabelecidos, assim como tamanho das séries de chuva.



Fonte: os autores.

2.3. Analise de tendência

A análise de tendência foi conduzida nas séries de PTA e PMDA conforme as recomendações da World Meteorological Organization (WMO) (IRANNEZHAD et al., 2016), isto é, empregando o de tendência não-paramétrico Mann-Kendall (MK) associado ao teste Sen's Slope (SS).

O teste MK (MANN, 1945; KENDALL, 1975) é amplamente utilizado para detectar tendências monotônicas significativas em séries hidrometeorológicas (ZAMANI et al., 2016). Neste teste, cada valor da série é comparado com os valores restantes, em ordem sequencial, contabilizando o número de vezes em que os termos restantes são menores ou maiores do que o valor analisado.

A estatística S do teste MK é calculada pela seguinte equação (Mann, 1945; Kendall, 1975):

$$S = \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} Sinal(x_j - x_i) \qquad (1)$$

Em que:

$$Sinal = \begin{cases} 1\ se\ (x_j - x_i) > 0 \\ 0\ se\ (x_j - x_i) = 0 \\ -1\ se\ (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

onde S é a estatística S do teste, x_j e x_i são os valores da variável nos tempos j e i, e n é o número de observações da série em estudo.

A probabilidade associada à S é calculada para quantificar estatisticamente a significância da tendência, utilizando a estatística Z_{MK}:

$$Z_{MK_{Calc}} = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}\ se\ S > 0 \\ 0\ se\ S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}\ se\ S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

sendo Z a estatística padronizada do teste.

A hipótese de nulidade (H_0) testada é de que os dados constituem uma amostra aleatória de N valores independentes e identicamente distribuídos, ou seja, não existe tendência na série. Para avaliar a presença de tendência estatisticamente significante, o Z_{MK} é comparado com o valor crítico (Zc) para o nível de significância (α) adotado para o teste.

O teste SS (SEN, 1968) visa fornecer a magnitude da tendência estatisticamente significativa. O SS seleciona, dentre todas as linhas de inclinação formadas por cada par de pontos da amostra, aquela correspondente à inclinação mediana, indicando se houve ou não tendência e a sua magnitude (YUE et al., 2002; HUANG et al., 2014):

$$Q_j = \frac{(x_j - x_i)}{j - k} \quad (4)$$

em que i = 1, 2, ... n; n é o número de pares na série hidrológica da variável, x_j e x_k são os valores da variável nos tempos j e k. A mediana (β) dos valores de Q_i representa a magnitude da tendência e é calculada pelas equações 5 e 6:

$$\beta = \frac{1}{2}\left(\frac{Q_n}{2} + \frac{Q_{n+2}}{2}\right)\ se\ n\ é\ par \quad (5)$$

$$\beta = \left(\frac{Q_{n+1}}{2}\right)\ se\ n\ é\ ímpar \quad (6)$$

Embora os testes MK e Sen's Slope forneçam informação sobre a tendência e sua magnitude nas séries hidrológicas, não é possível inferir sobre o momento ao longo do tempo em que a mudança nos dados ocorreu.

Para este fim, foi utilizado o teste de Pettitt (1979), o qual é um teste de homogeneidade não-paramétrico que visa identificar um ponto de mudança na série histórica de uma variável contínua. O teste verifica se duas observações pertencem à mesma população e localiza o ponto de mudança brusca na média da série.

A estatística U do teste *Pettitt* é dada pela equação (Pettitt, 1979):

$$U_{t,T} = \sum_{j=1}^{t} \sum_{j=i+1}^{T} D_{ji} = \begin{cases} -1 \; se \; (x_j - x_i) > 0 \\ 0 \; se \; (x_j - x_i) = 0 \\ 1 \; se \; (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

No teste Pettitt, a hipótese de nulidade (H_0) testada é a de que não existe um ponto de mudança brusca significativo na série. Os testes de MK, SS e Pettitt foram realizados no software RStudio, considerando um nível de significância de 5% (α = 0,05) (ASFAW et al., 2018).

2.4. Analise da variabilidade

A variabilidade da chuva foi investigada com base nas séries de PMDA e PTA, bem como nas séries de PTM sem tendência significativa, empregando o Coeficiente de Variação (CV), o Índice Padronizado de Anomalias da Chuva (IAP) e o Índice de Concentração da Precipitação (ICP).

O CV é muito utilizado para comparar variabilidades de diferentes conjuntos de dados e indica a proporção da média representada pelo desvio padrão. O CV foi calculado para as séries de PMDA e PTA e classificado conforme proposto por Hadju et al. (2013): baixo (CV < 20), moderado (20 < CV < 30), alto (CV > 30), muito alto (CV > 40%) e extremamente alto (CV > 70%).

O IAP (ROOY, 1965), permite a identificação dos anos secos e chuvosos em uma série histórica de PTA e tem sido amplamente empregado para avaliar a ocorrência e severidade de secas (WMO, 2012; ESHETU el al., 2015). O IAP é calculado pela equação (ALEMU; BAWOKE, 2019):

$$IAP_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (8)$$

onde $\mathrm{IAP_i}$ é o índice padronizado de anomalias da precipitação do ano i; $\mathrm{x_i}$ é a precipitação total anual registrada no ano i (mm); $\bar{x}$ é a precipitação total anual média da série

durante o período observado (mm) e s é o desvio padrão da precipitação total anual durante o período observado (mm). A classificação do IAP foi realizada conforme proposto por McKee (1993), descrita na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do IAP conforme McKee (1993).

Índice Padronizado de Anomalias da Precipitação (IAP)	Categoria
> 2	Extremamente úmido
1,5 a 1,9	Muito úmido
1,0 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Aproximadamente normal a normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
> -2	Extremamente seco

Fonte: os autores.

Já o ICP (OLIVER, 1980), fornece um entendimento sobre distribuição temporal da chuva ao longo dos meses ou das estações do ano e pode ser utilizado como um indicador de riscos hidrológicos como secas e inundações (GOCIC et al., 2016). De acordo com De Luis et al. (2011), o ICP é calculado utilizando as séries de PTM e, nas escalas anual e sazonal, é dado pelas equações 9 e 10:

$$ICP_{Anual} = \frac{\sum_{i=1}^{12} {P_i}^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2} * 100 \qquad (9)$$

Onde ICP_{Anual} é o Índice de Concentração da Precipitação em escala anual e P_i é a precipitação total do mês i (mm).

$$ICP_{Sazonal} = \frac{\sum_{i=1}^{3} {P_i}^2}{(\sum_{i=1}^{3} P_i)^2} * 25 \qquad (10)$$

Onde $ICP_{Sazonal}$ é o Índice de Concentração da Precipitação em escala sazonal e P_i é a precipitação total do mês i da estação do ano considerada (mm). Para o cálculo do $ICP_{Sazonal}$, o verão incluiu os meses de janeiro, fevereiro e março; o outono os meses de abril, maio e junho; o inverno os meses de julho, agosto e setembro; e a primavera os meses de outubro, novembro e dezembro.

Oliver (1980) sugere (para ambas escalas temporais) que valores do ICP ≤ 10 indicam uma distribuição uniforme da precipitação; 11 ≤ ICP ≤ 15 indicam uma moderada concentração da precipitação; 16 ≤ ICP ≤ 20 indicam uma distribuição irregular da precipitação; e valores do ICP ≥ 21 indicam uma forte irregularidade na distribuição da chuva (alta concentração).

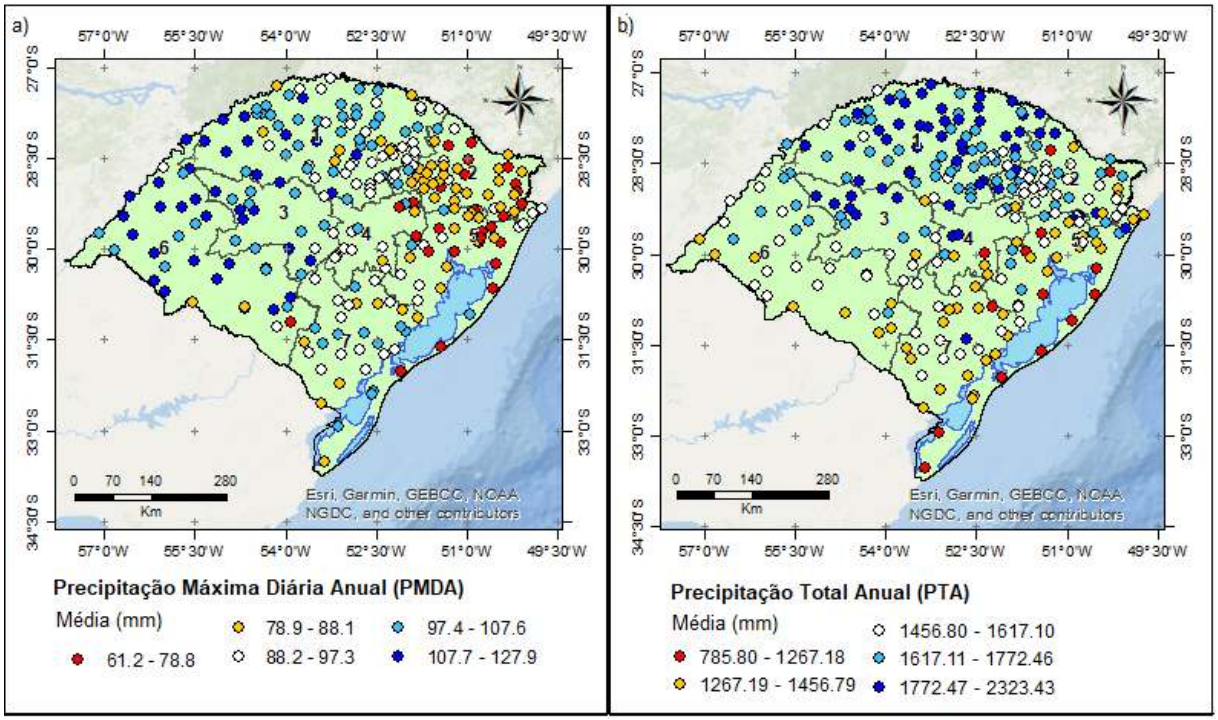
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 3a e 3b pode ser observada a distribuição espacial dos valores médios de PTA e PMDA, respectivamente, obtidos a partir das séries pluviométricas de cada posto. A PTA média variou entre 785,8 mm e 2323,5 mm, estando os maiores valores no Noroeste e, os menores, na região litorânea. Em 211 séries o CV foi enquadrado como moderado e alto (entre 20.01% and 40%), e apenas em 2 o CV foi classificado como muito alto (> 40%) (HADJU et al. 2013). No geral, foi observada uma diferença na variabilidade espacial da PTA quando analisada a região da serra do nordeste e o restante do estado. Segundo Cera e Ferraz (2015), as frentes frias que passam regularmente pelo Estado favorecem a boa distribuição da chuva.

No entanto, a PMDA varia consideravelmente tendo em vista que é fortemente influenciada por características locais bem como pelo efeito orográfico, o que condiciona a PMDA a ter uma alta variabilidade espacial e temporal. A PMDA média variou entre 61.20 mm e 127.90 mm (Fig.3a). Os menores valores de PMDA foram observados nas mesorregiões Nordeste e Metropolitana, enquanto os maiores valores médios de PMDA (entre 97.37 mm e 127.85 mm) foram observados nas mesorregiões Noroeste, Centro-oeste e Sudoeste, em 107 postos pluviométricos (38%).

O CV da PMDA variou entre 12.55% e 52.53%, sendo considerado “baixo” em apenas 11 series, localizadas nas mesorregiões Noroeste e nordeste. Os CV estão entre 20.01 e 30% em 180 series, classificados como “moderado”, e em 73 foram classificados como “alto”. Nas demais séries, o CV é “Muito alto” segundo Hadju et al. (2013).

Figura 3 - Distribuição espacial dos valores médios de Precipitação Máxima Diária Anual (PMDA) (a) e Precipitação Total Anual (PTA) (b) com base nas séries analisadas.



Fonte: os autores.

É importante destacar que nestes locais ocorrem os maiores índices de erosividade da chuva anual do RS (entre 8000 e 12000 MJ mm.ha^{-1}.h^{-1} .ano^{-1}) (ROESCH et al., 2009; TRINDADE et al., 2016), nos quais também são encontrados os Latossolos, Argissolos e Neossolos Litólicos (SEPLAN, 2019) que, principalmente devido às suas características texturais e de cultivo, tornam-se mais susceptíveis à erosão hídrica, além da presença do bioma Pampa. Portanto, esta combinação de ocorrência de chuvas intensas e chuvas erosivas, solos com baixa tolerância à erosão e bioma em degradação demonstra a fragilidade do ambiente e aponta para a importância de analisar o comportamento da chuva nestas regiões para, por exemplo, adaptar práticas de manejo e conservação do solo e da água.

3.1. Tendências temporais

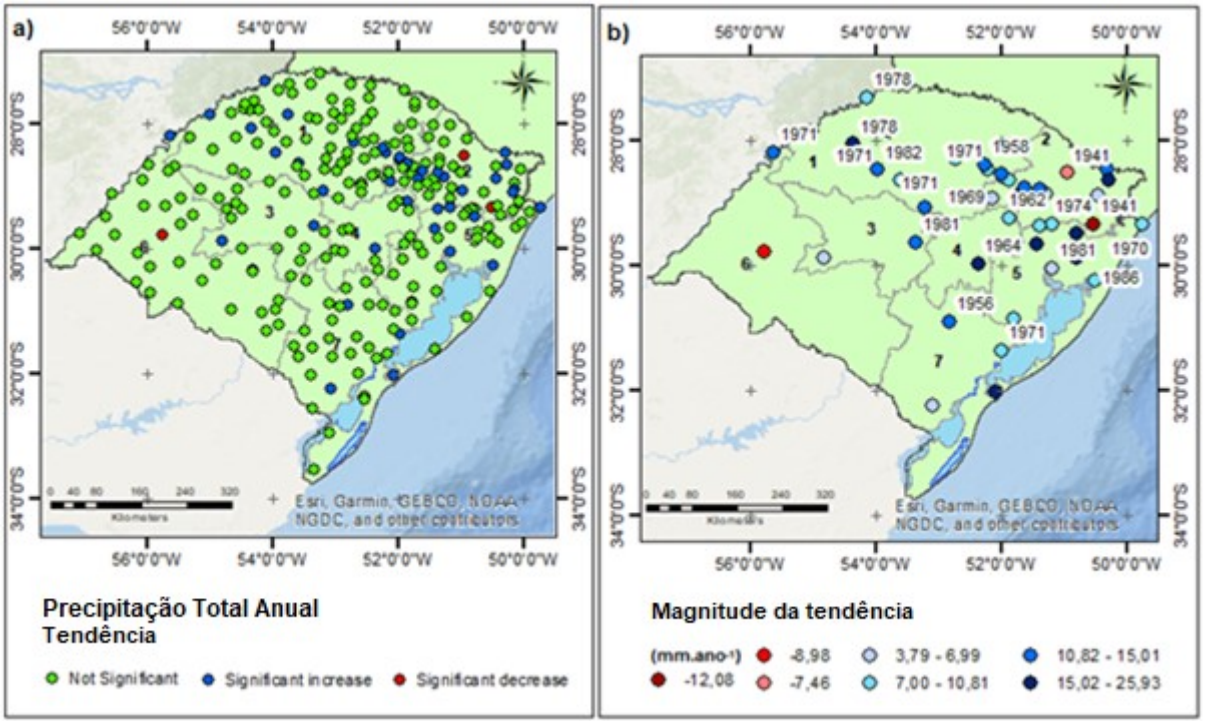
3.1.1. Precipitação Total Anual (PTA)

Com a aplicação do teste MK, foi constatada tendência estatisticamente significativa em 45 das 271 séries históricas de PTA. Na Figura 4a pode ser visualizada a localização dos 42 postos com tendência de aumento e dos 3 postos cuja tendência de diminuição nos valores

de PTA, estando a grande maioria localizados na metade Norte do RS, mais especificamente nas mesorregiões Noroeste, Nordeste e Metropolitana. O tamanho das séries cuja tendência foi significativa foi de, em média, 50 anos, sendo que 30 das 45 possuem mais de 40 anos de observação. Na Figura 4b, é possível verificar a magnitude do aumento ou diminuição da PTA nas séries em que a tendência foi significativa.

Nas séries com diminuição significativa da PTA, a magnitude variou entre -7,46 mm.ano^{-1} e -12,08 mm.ano^{-1}. Já nas séries em que houve aumento da PTA, a magnitude variou entre 3,79 mm.ano^{-1} e 25,93 mm.ano^{-1} (Figura 4b). As maiores magnitudes positivas (> 10 mm.ano^{-1}) estão localizadas, principalmente, nas mesorregiões Noroeste, Nordeste e Metropolitana, onde ocorrem os maiores volumes de PTA.

Figura 4 - Resultado dos testes Mann-Kendall (a) e Sen's Slope e Pettitt (b) das séries de PTA. Obs.: Está identificado em (b), na forma de rótulo, o ano em que houve mudança significativa na série, segundo o teste Pettitt.



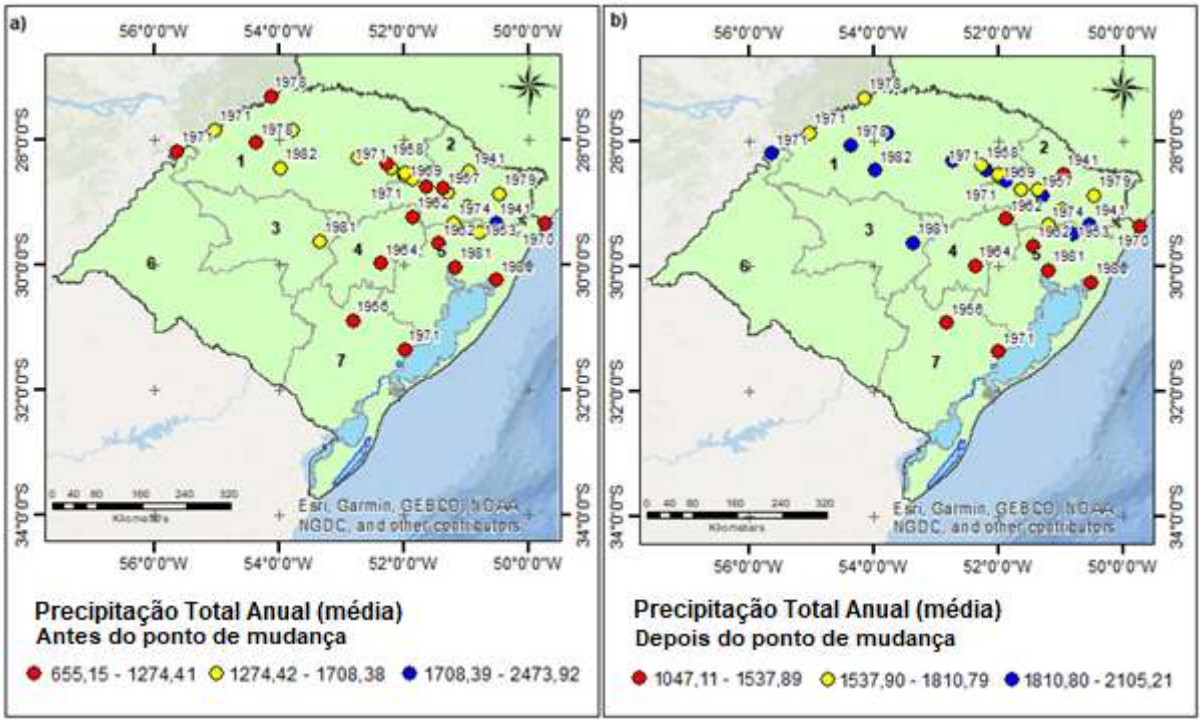
Fonte: os autores.

Estes resultados corroboram com aqueles obtidos por Guedes et al. (2019), que verificaram tendência positiva em 4 das 8 séries de PTA no Norte do RS, e de Cera e Ferraz (2015) e Sansigolo e Kayano (2010), que também obtiveram resultados similares estudando a precipitação no RS. O teste Pettitt identificou o ano em que houve mudança brusca

significativa nos dados em 30 das 45 séries de PTA. Dentre estas, 9 apresentaram mudança em 1971 (Figura 4b), ano a partir do qual houve aumento na PTA média das séries (Figura 5).

Na Figura 5 é demonstrada a média das séries de PTA antes (5a) e após (5b) o ano de mudança nos dados. Os menores aumentos na PTA média da série, após o ano de mudança, ocorrem em séries das mesorregiões Sudeste, Centro-Leste e Metropolitana. Por outro lado, as maiores diferenças na média das séries de PTA estão localizadas nas regiões Nordeste e Noroeste, nas quais houve, predominantemente, um aumento da PTA. No posto 2855001, localizado na mesorregião Noroeste, a PTA média da série antes de 1971 era de 1232,10 mm, e depois, 1948,43 mm.

Figura 5 - PTA média das séries antes (a) e depois (b) do ano de mudança identificado pelo teste Pettitt.



Fonte: os autores.

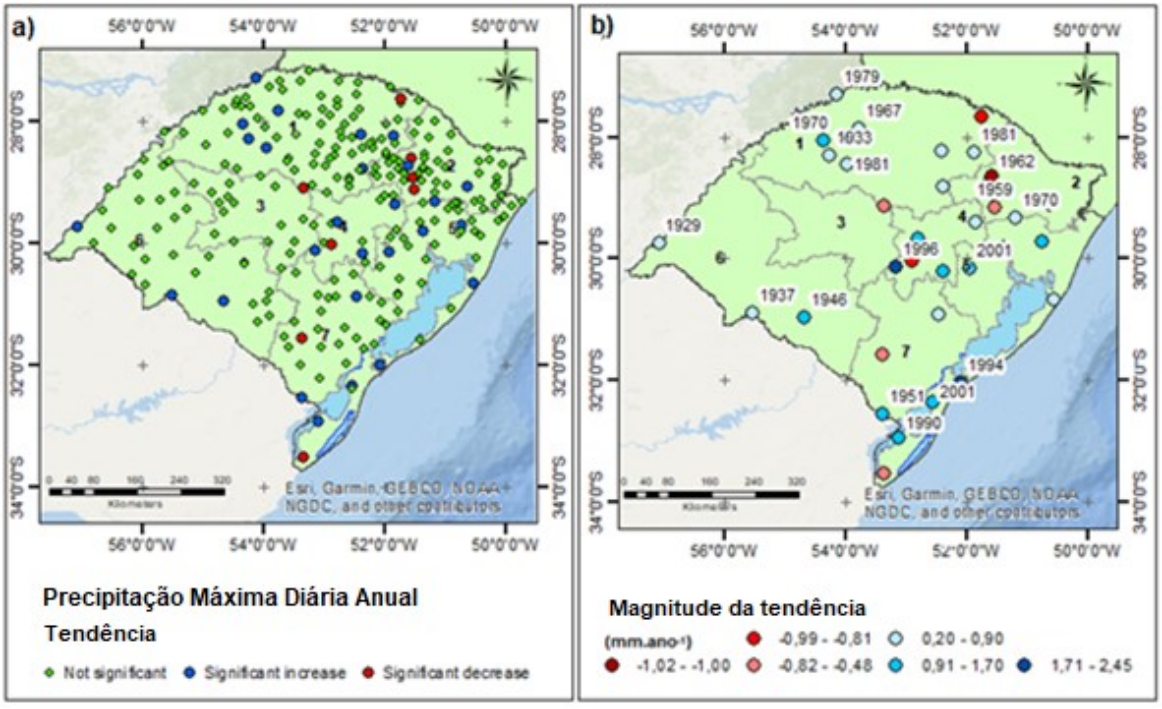
3.1.2. Precipitação Máxima Diária Anual (PMDA)

Com a aplicação do teste MK foi constatada a existência de tendência estatisticamente significativa em 35 das 271 séries de PMDA (Figura 6a), sendo 27 de aumento e 8 de diminuição. A maioria das séries com tendência significativa encontra-se na metade Norte do RS e a extensão média das séries é de aproximadamente 45 anos, sendo que 14 das 35 séries possuem entre 22 e 33 anos. Dentre as 33 séries que apresentaram tendência, apenas 2

podem ser consideradas de baixa variabilidade (CV < 20%), que é outro ponto importante relacionado ao uso do teste MK. Segundo Yue et al. (2002), características das séries como o tamanho e variabilidade estão estritamente relacionadas ao poder do teste em detectar tendências, podendo influenciar nos resultados.

A magnitude da diminuição (Figura 6b) da PMDA variou entre -1,02 mm.ano^{-1} e -0,48 mm ano^{-1}, enquanto que o aumento foi entre 0,20 mm.ano^{-1} e 2,45 mm.ano^{-1}. Das séries com tendência negativa, as maiores magnitudes encontram-se na região Norte, diminuindo na direção Sul. Por outro lado, as maiores magnitudes positivas (entre 1 mm.ano^{-1} e 2,5 mm.ano^{-1}) estão localizadas na porção Sudeste do RS. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Gonçalves e Back (2018), que constataram tendências significativas de aumento da precipitação na região Sudeste do RS.

Figura 6 - Resultado dos testes Mann-Kendall (a) e Sen's Slope e Pettitt (b) das séries de PMDA. Obs.: Está identificado em (b), na forma de rótulo, o ano em que houve mudança significativa na série, segundo o teste Pettitt.



Fonte: os autores.

Das 35 séries com tendência significativa, o ano detectado pelo teste Pettitt foi significativo em 18 postos (Figura 6b). Os resultados do teste SS e Pettitt para as séries de PMDA, em que o ponto de mudança foi significativo, podem ser observados na Tabela 2. Os

anos de mudança na tendência das séries variaram bastante, porém na região Norte há um predomínio do período entre 1960 e 1980, e no litoral e região central do estado, dentro dos últimos 20 anos. Dos 18 postos pluviométricos em que o ano de mudança foi significativo, em 16 a tendência foi de aumento da PMDA. Nestas séries, a mudança na PMDA média das séries foi de 28,46 mm, em média, e estes valores variaram em cerca de 37%. No posto 2854003, localizado na região Noroeste do estado, foi observada a maior diferença na média das séries antes e depois do ponto de mudança identificado, igual a 50,20 mm.

Tabela 2 - Resultados dos testes Sen's Slope e Pettitt das séries de PMDA em que foram identificados os pontos de mudança significativos.

Código do Posto	Período observado	Magnitude da tendência ($mm.ano^{-1}$)	Ponto de mudança (ano)	*p* valor	μ_1 - média da série antes do ponto de mudança (mm)	μ_2 - média da série depois do ponto de mudança (mm)
2753007	1948-2012	0.282	1967	0.015	91.69	109.83
2754001	1950-2016	0.805	1979	0.00009	70.45	99.88
2851002	1953-1979	-1.020	1966	0.013	92.44	73.69
2851020	1963-2012	0.513	1981	0.036	82.78	100.62
2853003	1960-2018	0.584	1981	0.010	87.59	114.27
2854003	1945-2016	0.985	1970	0.0003	52.44	102.65
2854007	1915-1983	0.662	1933	0.00008	71.51	103.65
2951003	1936-1997	-0.595	1959	0.005	88.28	68.80
2951022	1944-2016	0.380	1970	0.008	76.44	93.35
2957001	1913-1998	0.691	1929	0.001	76.77	115.91
3051031	1983-2016	1.116	2001	0.025	78.99	97.19
3053021	1987-2016	2.340	1996	0.016	72.07	104.14
3054014	1934-1961	1.198	1946	0.001	67.36	99.28
3055001	1913-1982	0.375	1937	0.011	75.88	93.67
3252006	1965-2018	0.986	2001	0.038	88.49	118.18
3252024	1986-2017	2.450	1994	0.010	43.07	90.28
3253003	1966-2017	1.033	1990	0.024	83.41	112.11
3253005	1934-1962	1.035	1951	0.034	71.93	91.26

Fonte: os autores.

Já nas séries em que a tendência foi negativa (2851002 e 2951003), a diferença na média da série de PMDA foi de 19,10 mm, quando comparados antes e depois do ponto de mudança. A PMDA é frequentemente utilizada como subsídio na modelagem da chuva de projeto para o dimensionamento de obras hidráulicas. Assim, um aumento na PMDA pode influenciar as relações intensidade-duração-frequência de chuvas intensas, podendo acarretar

na diminuição da capacidade de obras hidráulicas no controle de cheias e, consequentemente, em alagamentos e inundações.

Associado a isso, os solos hidromórficos encontrados na região são caracterizados como naturalmente mal drenados (DA SILVA; PARFITT, 2004). Segundo Zanchin et al. (2017), entre 2003 e 2015, cidades da região Sul do estado como Pelotas, Rio Grande, Piratini e São Lourenço já observam os efeitos das mudanças na chuva, sendo que 58% dos desastres naturais que ocorrem nos municípios da região Sul do estado são enchentes e enxurradas.

Além disso, nos locais em que foi constatado o aumento da PTA e da PMDA, e ocorrem solos susceptíveis a erosão, poderá ser observada uma acentuação dos processos erosivos e, consequentemente, da perda de solo. Na mesorregião Sudoeste, por exemplo, na qual o potencial erosivo das chuvas é elevado, em combinação com o tipo, uso e cobertura do solo podem resultar altas taxas de perda de solo (ROESCH et al., 2009; TRINDADE et al., 2016).

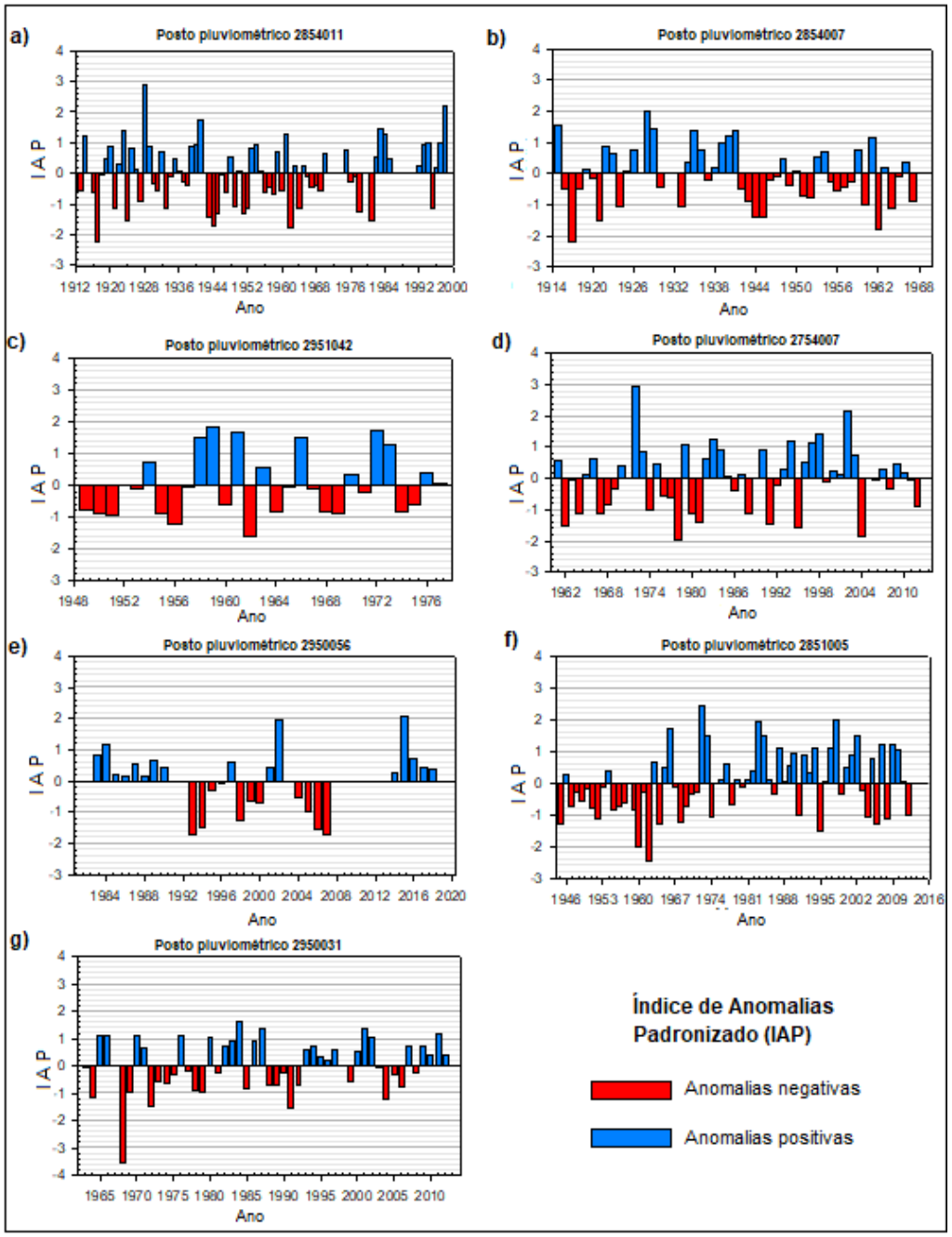
3.2. Variabilidade

3.2.1. Índice Padronizado de Anomalias da Precipitação (IAP)

A análise do IAP demonstrou que o mesmo variou entre -3,55 e 2,88. De acordo com a classificação de McKee (1993), a maior parte dos anos (entre 58% e 80% dos anos entre 1912 e 2018) foram aproximadamente normais com relação à PTA. Também foi constatada a presença de mais anos úmidos do que secos nos períodos observados, porém a diferença é pequena. Diante da grande quantidade de postos utilizados neste estudo, na Figura 7 são apresentados apenas os gráficos das séries de PTA em que foram observados os maiores valores do IAP em cada classe.

A Figura 7d demonstra o IAP da série do posto 2754007, na qual foi encontrado o maior valor da classe “aproximadamente normal a normal”. Em relação às anomalias negativas, o gráfico do posto 2950056 (Figura 7e), localizado na divisa com o estado de Santa Catarina, demonstra a maior anomalia negativa da classe “moderadamente seco” (-1,497), mas apesar disso, destaca-se que os IAP dos primeiros oito anos da série foram positivos. Para a classe “severamente seco”, o IAP máximo ocorreu no posto 2851005 (Figura 7f), localizado na região Norte-Nordeste do estado.

Figure 7 - Índice Padronizado de Anomalias da Precipitação dos postos pluviométricos nos quais ocorreram os maiores valores das classes “extremamente úmido” (a), “muito úmido” (b), “moderadamente úmido” (c), “aproximadamente normal a normal” (d), “moderadamente seco” (e), “severamente seco” (f) e “extremamente seco” (g).



Fonte: os autores.

O valor do Índice foi de -1,999, no ano de 1960, no qual a PTA foi igual a pouco mais de 1000 mm. O valor mais extremo do IAP, igual a -3,55 foi constatado no posto pluviométrico 2950031 (Figura 7g), no ano de 1962. O posto fica localizado na região Nordeste, no qual o total anual neste ano foi de apenas 591 mm.

Apesar dos postos supramencionados encontrarem-se apenas na região Norte do estado, foi identificada uma diferença na distribuição espacial das anomalias: nas séries dos postos localizados no Norte, com exceção dos anos normais, existem mais anos moderadamente úmidos a extremamente úmidos do que moderadamente secos a extremamente secos; já nos postos da metade Sul foi observado o inverso. Uma hipótese para isto seria a intensificação das forçantes que fazem com que, climatologicamente, a metade Norte do estado apresente precipitação maior que a metade Sul. Como já mencionado, o escoamento de baixos níveis quente e úmido da Amazônia está associado a sistemas precipitantes que tendem a atingir a metade Norte do estado, preferencialmente. Quando este escoamento é intensificado e respeita alguns critérios (originalmente, os de Bonner (1968)), é possível observar o Jato de Baixos Níveis (JBN) (SALIO et al., 2002; MARENGO et al., 2004).

Silva et al. (2009) e Guedes et al. (2019) mostraram que o JBN tende a ser mais frequente em anos de El Niño, o que acarretaria em anos mais úmidos da metade Norte durante esta fase do ENOS. Contudo, vários trabalhos (ROPPELEWSKI; HALPERT (1987), RAO; HADA (1990) e GRIMM et al. (1998; 2000)) mostram a relação direta entre El Niño e o aumento da precipitação média no Sul do Brasil em geral, mas especialmente na primavera, outono e inverno do ano seguinte, enquanto em eventos de La Niña observa-se o decréscimo da precipitação. Esta influência do El Niño também pode ser observada com relação a eventos extremos de precipitação (NUNES; SILVA, 2013; PEREIRA; NUNES, 2018). Com isso, a ocorrência de enchentes nos municípios localizados na bacia hidrográfica do rio Uruguai, principalmente no extremo Norte do estado (onde são observados os maiores totais anuais de precipitação) é frequente e vem sendo intensificada.

Em junho de 2014, a região acumulou aproximadamente 504 mm de chuva em um mês, sendo que grande parte do volume (414 mm) ocorreu em uma semana, proporcionando diversas consequências sociais, econômicos e ambientais não somente na região do alto rio Uruguai, mas ao longo de toda sua calha na divisa entre o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Argentina. Ocorreram enchentes e inundações que afetaram um grande contingente populacional e, além da abertura das comportas de diversas hidrelétricas, houve o rompimento de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) particular, localizada em Ponte Serrada, no estado de Santa Catarina (SANCHES et al., 2015). Além disso, rodovias federais e

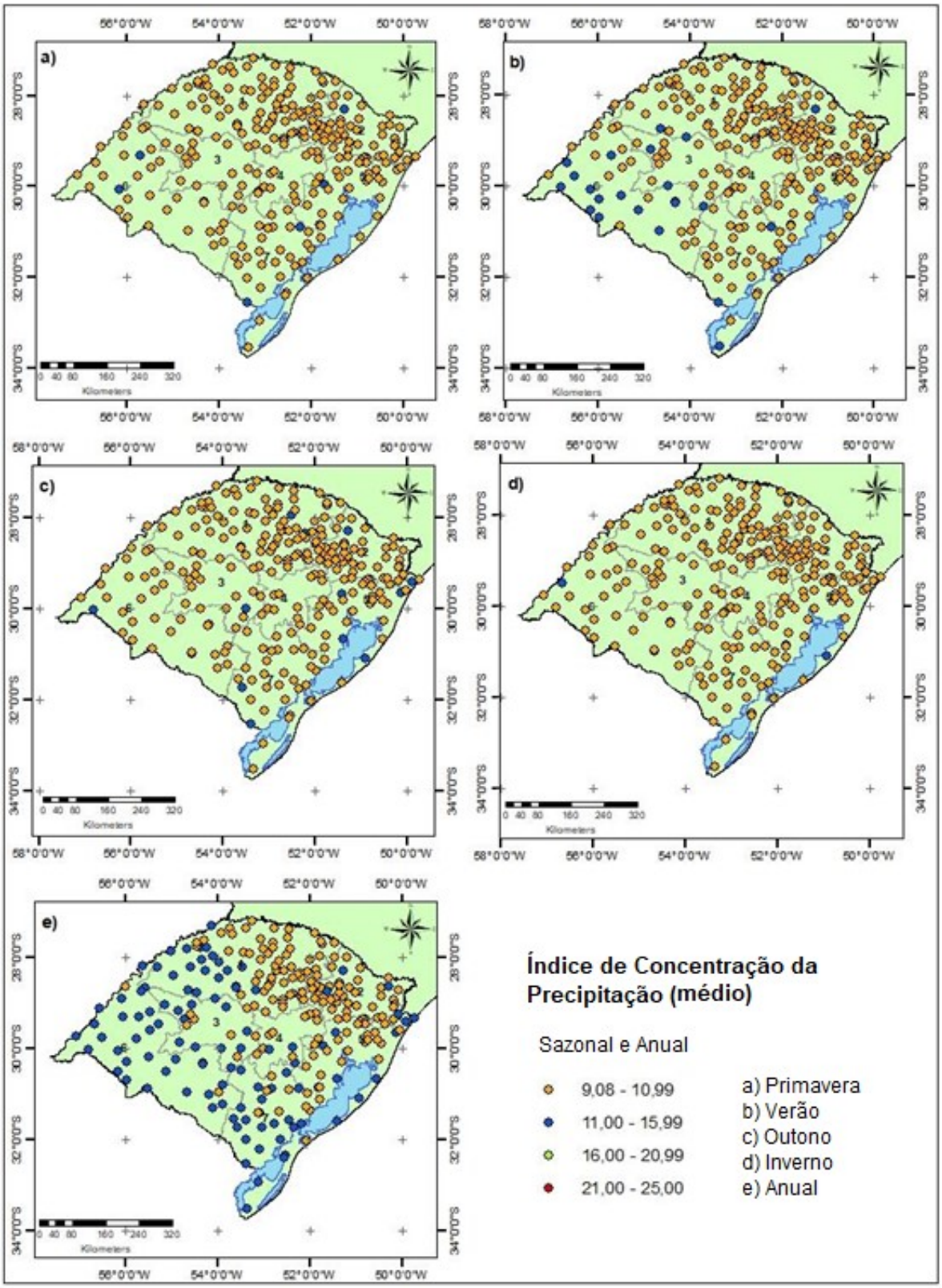
estaduais foram interditadas em função dos deslizamentos de terra e rachaduras na pista. Segundo Herrmann et al. (2004), os deslizamentos de terra, escorregamentos ou movimentos de massa tem como uma de suas principais condicionantes a alta pluviosidade e no Brasil, a maior parte dos deslizamentos ocorrem durante e após períodos chuvosos (PAIXÃO, 2015).

3.2.2. Índice de Concentração da Precipitação (ICP)

O ICP em escala anual variou de 8,54 a 24,8. No entanto, em média, cerca de 58% dos anos possuem ICP menor ou igual a 10, o que significa que existe uma distribuição uniforme da PTA ao longo dos meses destes anos. Em aproximadamente 40% dos anos o ICP variou entre 11 e 16, o que indica uma moderada concentração da PTA em alguns meses do ano. Também foi observada uma diferença no ICP anual quando comparadas as regiões Norte e Sul. Nas séries da porção Norte do estado existem mais anos com ICP ≤ 10 (63% dos anos) do que no Sul (53% dos anos), indicando uma melhor distribuição da chuva naquela região. Isso também ocorre quando analisados os valores 11 ≤ ICP ≤ 16. No Norte do estado, cerca de 36% dos anos das séries foram enquadrados nesta classe, e na metade Sul esse valor é de aproximadamente 46%, reforçando a observação de que existe diferença na distribuição temporal da PTA entre as regiões.

Em escala sazonal, foi observado que na região Norte do RS a primavera é a estação com a melhor uniformidade de distribuição da chuva, seguida do verão, inverno e outono. Em média, 83% dos anos possuem o ICP da primavera ≤ 10. No verão, inverno e outono este percentual é de 80,4%, 77,4% e 75,7%, respectivamente. Já na região Sul do estado, a estação com a menor concentração da precipitação é o inverno. No inverno, 79% dos anos, em média, possuem um ICP ≤ 10, seguido da primavera com 76,4%, verão com 73% e outono 71,4%. Ademais, cabe salientar que o outono, por ser a estação com o maior percentual médio (26%) na classe concentração moderada, é a estação que possui a menor uniformidade de distribuição da chuva dentre as estações, tanto na região Norte quanto no Sul do estado.

Figure 8 - Distribuição espacial do Índice de Concentração da Precipitação médio no estado do Rio Grande do Sul em escala sazonal ((a) primavera, (b) verão, (c) outono e (d) inverno) e anual (e).



Fonte: os autores.

Além disso, foi constatada uma variabilidade espacial do ICP médio dos postos pluviométricos, tanto em escala sazonal quanto anual (Figura 8). O ICP médio da primavera variou entre 9,08 e 11,48 (Figura 8a), do outono entre 9,32 e 11,61 (Figura 8c) e do inverno entre 9,34 e 12,30 (Figura 8d), porém a distribuição da chuva nessas estações é uniforme na maior parte do estado. No verão, o ICP médio variou entre e 9,11 e 11,94 e também indica uma distribuição uniforme da chuva na estação. Entretanto, o Índice no verão é mais pronunciado em diversos postos da região oeste (Figura 8b), o que indica que a chuva não é tão bem distribuída ao longo dos 3 meses dessa estação como no resto do estado.

Já o ICP médio anual (Figura 8e) sugeriu que na região Noroeste, na fronteira oeste e no Sul do estado existe uma maior irregularidade da PTA ao longo dos meses. Segundo Gonçalves e Back (2018), no verão acontece o aquecimento da superfície que promove a condução de umidade para o interior do continente, o que tende a instabilizar a atmosfera e aumentar os processos convectivos, resultando em chuvas intensas e pontuais, principalmente na porção oeste do estado. O RS tem enfrentado graves problemas relacionados à distribuição da chuva.

De acordo com Gross (2015), os decretos de situação de emergência por escassez hídrica ocorrem, majoritariamente, no verão e nos municípios que fazem fronteira com o Uruguai. No município de Bagé, é recorrente o racionamento de água nesse período, afetando diretamente o abastecimento. Um estudo realizado por Brondani et al. (2013) em 2012 demonstrou que a população percebe a ocorrência de estiagem há pelo menos 20 anos. Em 2020, segundo o Departamento de Água e Esgoto de Bagé, o volume de precipitação entre fevereiro e março foi de apenas 43 mm e as barragens estavam em níveis críticos, portanto foi iniciado o racionamento de água no município (DAEB, 2020).

Além disso, de acordo com Berlato e Fontana (1999), a variabilidade interanual da chuva também tem influenciado o rendimento das culturas RS, que tem seu Produto Interno Bruto diretamente relacionado ao desempenho das safras agrícolas. O setor agrícola é afetado desde o preparo do solo para o plantio até a colheita, e os efeitos da estiagem no estado já são observados na safra de verão de 2019/2020. Em março de 2020, a produtividade média ($kg.ha^{-1}$) de soja está 32% abaixo do que foi estimado, e a do milho cerca de 26% menor, porém há municípios em que as perdas chegam a 75%. Também houve diminuição da produtividade de outras culturas, como o feijão, principalmente na região Sul do estado (EMATER/RS, 2020).

Assim, é possível que o uso da irrigação de maneira suplementar seja de interesse nestes locais, tendo em vista que traz benefícios como a obtenção de aumentos significativos de produtividade de diversas culturas agrícolas, bem como um aumento na duração do período anual de plantio (GUIMARÃES; LANDAU, 2014).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo foi possível concluir que a PTA no Rio Grande do Sul varia pouco ao longo do tempo, contrapondo o que ocorre com a PMDA. No entanto, existe uma notável variabilidade espacial tanto do volume de PTA - que decresce em direção ao Sul, quanto na sua distribuição ao longo dos meses e das estações do ano. Ficou evidente que em algumas estações do ano, como o outono, a distribuição da chuva ao longo dos meses é mais irregular, principalmente na metade Sul do estado, a qual também possui um número maior de anos de escassez hídrica (representados pelas anomalias negativas) em comparação com a região Norte.

Ainda, foi constatado que os eventos mais extremos de PMDA, as maiores variações temporais, bem como os maiores ICP do verão e ICP anual ocorrem na mesorregião Sudoeste do estado, junto ao bioma Pampa, que é uma área de notável fragilidade ambiental, principalmente, devido à combinação do padrão de chuva, vegetação e tipo e uso do solo. Também foi constatado que 87% das séries de PMDA analisadas não possuem tendência temporal significativa. No entanto, na maior parte das séries que apresentaram tendência significativa de aumento da PMDA, o mesmo ocorreu nos últimos 40 anos, majoritariamente. Nas séries em que o ponto de mudança foi identificado, a diferença na média na PMDA entre antes e depois do ano foi de 16 mm a 50 mm.

A variabilidade da precipitação em algumas regiões do RS acarreta em algumas dificuldades relacionadas à disponibilidade hídrica, principalmente para produção agrícola, o abastecimento e as enchentes. Já a tendência de aumento da PMDA aponta para a intensificação de problemas ambientais já existentes como a perda de solo, os alagamentos e inundações, bem como os deslizamentos de terra. Nestes locais, recomenda-se que gestores não somente invistam em medidas estruturais, mas que também atentem para o fato de que,

principalmente os projetos hidrológicos de obras hidráulicas devem ser revistos e atualizados frente às mudanças na chuva no estado.

Além disso, a estrutura da maioria dos municípios para enfrentar situações de desastres naturais é precária, portanto, estudos como este são importantes para compreender de que maneira as cidades podem ser afetadas, além de servir de insumo para a adaptação e criação de estratégias e políticas que auxiliem na gestão dos recursos naturais, como o manejo e a conservação do solo e da água, bem como a mitigação dos impactos sociais e ambientais decorrentes das alterações climáticas atuais e futuras.

REFERÊNCIAS

ALEMU, M. M.; BAWOKE, G. T. Analysis of spatial variability and temporal trends of rainfall in Amhara region, Ethiopia. **Journal of Water and Climate Change**, v. 11, n. 4, p. 1505-1520, 2020. https://doi.org/10.2166/wcc.2019.084

AKINSANOLA, A. A.; OGUNJOBI, K. O. Recent homogeneity analysis and long-term spatio-temporal rainfall trends in Nigeria. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 128, n. 1, p. 275-289, 2017. https://doi.org/10.1007/s00704-015-1701-x

ASFAW, A., SIMANE, B., HASSEN, A., BANTIDER, A. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. **Weather and climate extremes**, v. 19, p. 29-41, 2018. https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.12.002

ASSIS, J.; LACERDA, F. F.; SOBRAL, Maria do Carmo. Análise de detecção de tendências no padrão pluviométrico na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 320-331, 2012. https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i2.232796

BARI, S. H., RAHMAN, M. T. U., HOQUE, M. A., HUSSAIN, M. M. Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. **Atmospheric Research**, v. 176, p. 148-158, 2016. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.008

BIRARA, H.; PANDEY, R. P.; MISHRA, S. K. Trend and variability analysis of rainfall and temperature in the Tana basin region, Ethiopia. **Journal of Water and Climate Change**, v. 9, n. 3, p. 555-569, 2018. https://doi.org/10.2166/wcc.2018.080

BONNER, W. D. Climatology of the low level jet. **Monthly Weather Review**, v. 96, n. 12, p. 833-850, 1968. 10.1175/1520-0493(1968)096%3C0833:COTLLJ%3E2.0.CO;2

BRONDANI, A. R. P.; WOLLMANN, C. A.; RIBEIRO, A. de A. A percepção climática da ocorrência de estiagens e os problemas de abastecimento de água na área urbana do município de Bagé-RS. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 26, p. 214-232, 2013. https://doi.org/10.7154/RDG.2013.0026.0011

CABALLERO, C. B.; OGASSAWARA, J. F.; DORNELES, V. R.; NUNES, A. B. Precipitação Pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 11, n. 4, p. 1429-1441, 2018.

https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1429-1441

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Climate Variability in Southern Brazil Precipitation in Present and Future Climate. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v. 30, p. 81-88, 2015. https://doi.org/10.1590/0102-778620130588

DE LUIS, M.; GONZALEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M.; LONGARES, L. A. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1259-1265, 2011. https://doi.org/10.5194/nhess-11-1259-2011

EMATER/RS – ASCAR. **Relatório de acompanhamento de safras: safra de verão 2019/2020.** 2020. http://www.emater.tche.br/site/info-agro/acompanhamento_safra.php#.XoxxhohKjIU

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. **Geomorfologia e meio ambiente**, v. 10, p. 123-194, 1996.

FRIEDMAN, M. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. **Journal of the american statistical association,** v. 32, n. 200, p. 675-701, 1937**.** https://doi.org/10.1080/01621459.1937.10503522

FRITZSONS, E.; WREVE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v16i0.39665

GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over south America. **Monthly Weather Review**, v. 119, n. 5, p. 1293-1302, 1991. 10.1175/1520-0493(1991)119%3C1293:SCOSA%3E2.0.CO;2

GOCIC, M.; SHAMSHIRBAND, S.; RAZAK, Z.; PETKOVIĆ, D.; CH, S.; TRAJKOVIC, S. Long-term precipitation analysis and estimation of precipitation concentration index using three support vector machine methods. **Advances in Meteorology**, v. 16, 2016. https://doi.org/10.1155/2016/7912357

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 41, n. 3, p. 592-602, 2018**.** https://doi.org/10.19084/RCA17204

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998. https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011%3C2863:PAISBA%3E2.0.CO;2

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013%3C0035:CVISSA%3E2.0.CO;2

GRIMM, A. M. **Clima da Região Sul do Brasil.** In: **Tempo e Clima no Brasil**. v. 2, p. 259-275. São Paulo, Oficina de Textos, 2009. 10.1175/1520-0442(2000)013%3C0035:CVISSA%3E2.0.CO;2

GROSS, J. A. **Índice de Anomalia de Chuva (IAC) dos municípios do Rio Grande do Sul afetados pelas estiagens no período de 1991 a 2012.** 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2015. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9434

PRIEBE, O. S.; MANKE, E. B.; GUEDES, H. A. S. Tendências em séries temporais de precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 283-291, 2019. https://doi.org/10.1590/0102-77863340238

HADGU, G.; TESFAYE, K.; MAMO, G.; KASSA, B. Trend and variability of rainfall in Tigray, northern Ethiopia: analysis of meteorological data and farmers' perception. **Academia Journal of Agricultural Research**, v. 1, n. 6, p. 088-100, 2013. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143001871

HERRMANN, M. L. P.; PELLERIN, J. R. G. M.; SAITO, S. M. Análise das ocorrências de escorregamentos no Estado de Santa Catarina com base nos Formulários de Avaliação de Danos da Defesa Civil–1980 a 2003. In: Anais do **Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais**, Florianópolis, Brasil, 2004. http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/8/9/19.pdf

HUANG, J.; SUN, S.; XUE, Y.; ZHANG, J. Spatial and temporal variability of precipitation indices during 1961–2010 in Hunan Province, central south China. **Theoretical and applied climatology,** v. 118, n. 3, p. 581-595, 2014. https://doi.org/10.1007/s00704-013-1087-6

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades do Rio Grande do Sul**, 2014. Acesso em: 15 de fevereirode 2020. See: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama/2014

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa dos Biomas,** 2017**.** Acesso em: 12 de fevereiro de 2020. See: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Part a: Global and Sectoral Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, p. 1132, 2014. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/

IRANNEZHAD, M.; MARTTILA, H.; CHEN, D.; KLOVE, B. Century-long variability and trends in daily precipitation characteristics at three Finnish stations. **Advances in Climate Change Research,** v. 7, n. 2, p. 54-69, 2016**.** http://dx.doi.org/10.1016/j.accre.2016.04.004

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**, 4th ed., Londres, Charles Griffin, 1975. https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2099295

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001. https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1136/1077

KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, n. 31, p. 83-100, 2018. http://200.198.145.164/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/4102/3978

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 245-259, 1945. https://doi.org/10.2307/1907187

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **The annals of mathematical statistics**, p. 50-60, 1947. http://www.jstor.org/stable/2236101

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP–NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. **Journal of climate**, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004. 10.1175/1520-0442(2004)017%3C2261:COTLJE%3E2.0.CO;2

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS eo regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 5, p. 323-331, 2017. 10.31062/agrom.v25i2.25510

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. **Proceedings of Applied Climatology.** 1993. p. 179-183. https://doi.org/10.1088/1755-1315/5

NUNES, A. B.; DA SILVA, G. C. Climatology of extreme rainfall events in eastern and northern Santa Catarina State, Brazil: present and future climate. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 31, n. 3, p. 413-425, 2013. https://10.22564/rbgf.v31i3.314

NUNES, A. B.; PEREIRA, R. S. Estimativa de eventos de precipitação com potencial para alagamentos urbanos no Rio Grande do Sul. **Meteorologia em Tópicos**, v. 4, p. 273-313, 2017.

OLIVER, J. E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. **The Professional Geographer**, v. 32, n. 3, p. 300-309, 1980. https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x

OLIVEIRA, L. F. C. (org.) **Chuvas extremas no Brasil: modelos e aplicações**. Lavras, Editora UFLA, 2019.

ONYUTHA, C. Identification of sub-trends from hydro-meteorological series. **Stochastic environmental research and risk assessment**, v. 30, n. 1, p. 189-205, 2016. http://dx.doi.org/10.1007/s00477-015-1070-0

PAIXÃO, M. A. Relação intensidade-duração de precipitações para desencadear escorregamentos na cidade de Porto Alegre-RS. In: **Anais do XIV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 789-796, 2015. http://dx.doi.org/10.5151/engpro-eneeamb2016-grrd-001-4962

PEREIRA, R. S.; NUNES, A. B. Estudo climático dos eventos de precipitação associados a alagamentos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 2010-2017. https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/238137/31220

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society: Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979. https://doi.org/10.2307/2346729

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 281-290, 2013. https://www.scielo.br/j/rbmet/a/hxgYttwTb6yWLp5ZXjft4Yz/abstract/?lang=pt

RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e freqüência de chuva no

rendimento da soja. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 19-26, 2017. http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26263

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and applied climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990. http://dx.doi.org/10.1007/BF00868215

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, p. 185-204, 2010. https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yhrG5QPXhBCkZXcGKgyzWvf/?lang=pt&format=pdf

ROESCH, L. F. W.; VIEIRA, F. C. B.; PEREIRA, V. A.; SCHÜNEMANN, A. L.; TEIXEIRA, I, F.; SENNA, A. J. T.; STEFENON, V. M. The Brazilian Pampa: a fragile biome. **Diversity,** v. 1, n. 2, p. 182-198, 2009. https://doi.org/10.3390/d1020182

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly weather review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115%3C1606:GARSPP%3E2.0.CO;2

SALIO, P.; NICOLINI, M.; SAULO, A. C. Chaco low-level jet events characterization during the austral summer season. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D24, p. ACL 32-1-ACL 32-17, 2002. 10.1029/2001JD001315

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet. **Monthly Weather Review**, v. 135, n. 4, p. 1290-1309, 2007. https://doi.org/10.1175/MWR3305.1

SANCHES, F. O.; BALEN, D. S.; SILVA, R. V.; ROSA, K. K.; RADUNZ, A. Chuvas no Rio Grande do Sul: um estudo sobre as precipitações acumuladas intensas no alto Uruguai gaúcho. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, 2014. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v15i0.38074

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1, p. 209-216, 2010. https://doi.org/10.1007/s00704-010-0270-2

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. South America. In: Meteorology of the southern hemisphere. **American Meteorological Society**, Boston, MA, 1998. p. 119-139 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-935704-10-2_5

SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C. Baixa do Noroeste Argentino e Baixa do Chaco: caracterísitcas, diferenças e semelhanças. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 49-60, 2012. https://www.scielo.br/j/rbmet/a/8nZ6WpQw5DwvSkDrQtryrGv/?format=pdf&lang=pt

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American statistical association, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1968.10480934

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL (SEPLAG). **Atlas Socioeconômico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento Regional, 2019. Accessed: 2 de fevereiro de 2020. See: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial

SILVA, A. R.; DOS SANTOS, T. S.; DE QUEIROZ, D. É.; GUSMÃO, M. O.; DA SILVA, T. G. F. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of environmental analysis and progress**, p. 377-384, 2017. https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. **Drenagem superficial para diversificação do uso de solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Capão do Leão, Embrapa Clima Temperado, 2004. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30790/1/Circular-40.pdf

SILVA, G. A. M.; AMBRIZZI, T.; MARENGO, J. A. Observational evidences on the modulation of the South American Low Level Jet east of the Andes according to ENSO variability. **Annales Geophysicae** v. 27, n. 2, p. 645-65, 2009. https://doi.org/10.5194/angeo-27-645-2009

SOARES, F. S.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Distribuição espaço-temporal da precipitação na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande-RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 125-138, 2014. https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000100012

SOBRAL, B. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; TERASSI, P. M. De B.; MUNIZ-JÚNIOR, J. G. R. Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 22, 2018. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55592

TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S. D.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 51, p. 1918-1928, 2016. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001200002

VAN ROOY, M. P. A rainfall anomally index independent of time and space, notos. **Journal of Weather - Bureau of South Africa,** p. 43-48, 1965. 10.1175/1520-0493(1977)105%3C1009:SDACEE%3E2.0.CO;2

VARGAS, M. M.; BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; CORREA, L. L.; CUNHA, Z. A. SYHDA - System of Hydrological Data Acquisition and Analysis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, 2019. doi: https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180152

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres,** v. 92, n. D8, p. 9591-9613, 1987. 10.1590/0102-7786355000001

WORLD METROLOGY ORGANIZATION (WMO). **Standardized Precipitation Index User Guide.** Genebra, WMO, n. 1090, 2012. ISBN 978-92-63-11091-6.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of hydrology**, v. 259, n. 1-4, p. 254-271, 2002. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7

ZAMANI, R.; MIRABBASI, R.; ABDOLLAHI. S.; JHAJHARIA, D. Streamflow trend analysis by considering autocorrelation structure, long-term persistence, and Hurst coefficient in a semi-arid region of Iran. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 1, p. 33-45, 2017. 10.1007/s00704-016-1747-4

ZANCHIN, M.; LEANDRO, D.; QUADRO, M. S.; DE PAULA, L. S.; LIMA, G.; NADALETI, W. C. **Adequação dos Municípios do Sul do Rio Grande do Sul à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**. 10.18829/rp3.v1i10.21546