

CHUVAS MÁXIMAS EXTREMAS DE 1912 A 2024 EM SANTA MARIA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

ASTOR HENRIQUE NIED¹; GALILEO ADELI BURIOL²; ARNO BERNARDO HELDWEIN³ E EDUARDO CASTIGLIONI MONTEIRO⁴

¹ Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Brasil, E-mail: astor.nied@ufsm.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-8482-9104>).

² Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Brasil, E-mail: galileoburiol@yahoo.com.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-9713-3739>).

³ Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Brasil, E-mail: arno.heldwein@ufsm.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0003-3738-7512>).

⁴ Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Brasil, E-mail: eduardo.castiglioni@hotmail.com; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-9853-5369>).

1 RESUMO

Em maio de 2024 ocorreu o evento mais extremo de chuvas intensas e persistentes no estado do Rio grande do Sul (RS), causando a maior enchente da história, registrando-se níveis dos rios que superaram todos os valores históricos, gerando uma calamidade catastrófica. Embora prevista por modelos numéricos, a população e administradores governamentais e civis estiveram com baixa capacidade de enfrentamento dessa catástrofe ambiental. O objetivo deste trabalho foi analisar as características dos três eventos mais extremos das chuvas que causaram severas enchentes na série histórica de 1912 a 2024 em Santa Maria, RS. Foram utilizados totais diários, acumulados em três dias consecutivos e mensais das chuvas registradas durante 112 anos em Santa Maria, RS, determinando-se o regime pluviométrico e sua variabilidade. Verificou-se que abril e maio apresentaram a maior variabilidade entre anos ($CV > 69\%$), além de médias maiores que 140 mm e extremas maiores que 450 mm mensais. As chuvas máximas absolutas de 213,6 mm dia⁻¹ e os 470,7 mm acumulados em três dias consecutivos, ocorridas em maio de 2024 foram as mais intensas em 112 anos em Santa Maria, RS, sendo, respectivamente, 17% e 68% maior que qualquer outro nos demais meses e anos.

Palavras-chave: enchente, calamidade, intensidade pluviométrica, persistência da chuva, inundação.

NIED, A. H.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; MONTEIRO, E. C.
EXTREME MAXIMUM RAINFALL FROM 1912 TO 2024 IN SANTA MARIA, STATE OF RIO GRANDE DO SUL

2 ABSTRACT

In May 2024, the most extreme event of intense and persistent rainfall occurred in the state of Rio Grande do Sul (RS), which caused the largest flood in history, with river levels exceeding all historical values, generating catastrophic calamity. Although predicted by numerical models,

the population and government and civil administrators had a low capacity to deal with this environmental catastrophe. The objective of this work was to analyze the characteristics of the three most extreme rainfall events that caused severe flooding in the historical series from 1912-2024 in Santa Maria, RS. Daily totals, accumulated over three consecutive days, and monthly totals of rainfall recorded over 112 years in Santa Maria, RS, were used to determine the rainfall regime and its variability. The months of April and May presented the greatest variability between years ($CV > 69\%$), in addition to averages greater than 140 mm and extremes greater than 450 mm per month. The absolute maximum rainfall of $213.6 \text{ mm day}^{-1}$ and the 470.7 mm accumulated rainfall over three consecutive days that occurred in May 2024 were the most intense in 112 years in Santa Maria, RS, being 17% and 68% higher than any other in the other months and years, respectively.

Keywords: flood, calamity, rainfall intensity, persistence of rain, inundation.

3 INTRODUÇÃO

No estado do Rio Grande do Sul - RS, as médias dos totais mensais, valores normais, das precipitações pluviométricas (chuvas) ao longo dos doze meses do ano são similares. Isto pode ser constatado pelos valores das médias mensais obtidos de diferentes períodos de observação contidos nos trabalhos de Pauwels (1926a; 1926c), Araújo (1930), Machado (1950), Buriol, Estefanel e Ferreira. (1977), Instituto de Pesquisas Agronômicas (1989), Matzenauer et al. (2007), Silva (2010), Matzenauer, Radin e Almeida (2011) e pelos valores normais obtidos com dados dos períodos 1931--1960, 1961--1990 e 1991--2020 (Mota; Beirsdorf; Garzez, 1971; Brasil, 2024). Entretanto, apesar das médias dos totais mensais serem similares ao longo dos dozes meses do ano, ocorrem meses e anos com valores extremos, originando períodos de intensa deficiência ou excesso hídrico. Por exemplo, Pauwels (1926b; 1927), utilizando dados do período 1913-1923, destacou os anos de 1913, 1917 e 1921 como secos e de 1914 e 1915 como chuvosos; Araújo (1930), utilizando dados do período 1912-1929, referiu-se aos anos de 1913, 1917 e 1924 como secos e de 1914, 1915 e 1928 como chuvosos; Machado (1950), com dados do período 1912-1948, referiu-se aos anos de 1913, 1916, 1917, 1921, 1924, 1931,

1933, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946 e 1947 e aos anos de 1914, 1915, 1928, 1932, 1936, 1940 e 1941, respectivamente, como secos e chuvosos; Serra (1969), ao analisar as condições meteorológicas, principalmente da dinâmica das massas de ar nos anos secos de 1917, 1924, 1933 e 1943 e chuvosos de 1914, 1928 e 1941, constatou que os anos secos se caracterizam mais pela passagem rápida das frentes pelo estado do que pela sua frequência e que, nos anos chuvosos, são em menor número do que nos anos secos, mas de deslocamento lento, permanecendo por mais tempo sobre a região.

A ocorrência de eventos extremos como as secas e enchentes, mesmo as médias dos doze meses do ano serem similares, é consequência da variação temporal (contínua ou descontínua) das condições meteorológicas, um indicativo de que o conceito de média não deve ser dissociado da dinâmica das diversas condições do tempo, pois o uso somente da média aritmética em detrimento de modelos estatísticos e ou de índices meteorológicos de quantificação da variabilidade pode levar o usuário a interpretações imprecisas (Waggoner, 1989; Critchfield, 1974; Blain et al., 2007). Neste sentido, entorno da década de 1990 foram iniciados importantes estudos sobre a magnitude e frequência de eventos extremos das precipitações pluviométricas ocorrentes no estado do Rio Grande do Sul.

Por exemplo, Ávila (1994) mapeou a variação máxima da precipitação pluviométrica anual utilizando a razão entre o maior e menor valor anual, registros do período 1913-1990 e constatou que, no sudoeste do estado (Regiões Climáticas da Campanha, Baixo Vale do Uruguai e parte das Missões), ocorreu a maior variabilidade dos totais anuais, onde o total anual ocorrido no ano mais chuvoso superou em até quatro vezes aquele registrado no ano mais seco; Assis, Marins e Mendes (1997), com dados da série histórica de 1883-1995; Puchalski (2000) com dados do período 1914-1998, Fontana e Berlato (1997), para o período 1913-1996 e Britto, Barletta e Mendonça (2008), referente ao período 1967-1998, constataram que o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) influencia as condições climáticas no estado, havendo aumento da precipitação pluviométrica em relação à média quando ocorre a atuação do El Niño e diminuição quando ocorre a atuação do fenômeno La Niña; Viana (2009) determinou a variação espaço-temporal da precipitação pluvial na Região Sul do Brasil entre 1988 e 2007 por meio de Funções Ortogonais Empíricas e constatou que os desvios em relação à média variaram entre 40% e 70%; Caldeira et al. (2015) analisaram o ajuste das distribuições Log-Normal a 2 e 3 parâmetros e Gumbel as séries de precipitação pluviométrica máxima diária de 342 estações do estado e realizaram as suas adequações pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado, constatando que todas as distribuições de probabilidade consideradas foram adequadas; Silva (2015), utilizando os dados de precipitação pluviométrica de 40 estações meteorológicas, período de observações 1913-2002, identificou e caracterizou as secas utilizando dois índices de seca: Índice Padronizado de Precipitação, nas escalas temporais de 1, 3, 6, 9, 12 e 24 meses, nas intensidades severa e extrema, e o Índice de Moreno, em escala trimestral e semestral, nas intensidades intensa e severa, bem como

a contagem do número total de dias secos e análise da sequência de dias secos; Valente e Aquino (2018) sinalizaram os eventos extremos de precipitação ocorridos no estado no período 1901-1960, adotando como evento extremo as anomalias superiores e inferiores a 50 mm e -50 mm, respectivamente, constataram que em abril de 1959 ocorreu a maior anomalia positiva para todo o RS (200 mm) e em outubro de 1924, a mais negativa (-85mm); Valente (2018), utilizando séries temporais de eventos extremos das precipitações pluviométricas ocorridas no estado no período 1901-2000, dados de 17 estações meteorológicas e adotando a mesma metodologia utilizada em Valente e Aquino (2018), avaliou a variabilidade e a distribuição, assim como a influência do El Niño – Oscilação Sul (ENOS) e identificou que as zonas Campanha e Planalto são mais suscetíveis à variabilidade do ENOS e que a maior anomalia mensal da precipitação pluviométrica para os meses neutros, foi de 428,90 mm (abril de 1959), em anos de El Niño, de 224,51mm (abril de 1941) e em La Niña de 174,55 mm (janeiro de 1938); Teixeira e Prieto (2020), avaliaram os eventos da precipitação pluviométrica extrema ocorridos entre 2004 e 2013, classificando-os em diários e persistentes. Verificaram que para ambas as classes não houve tendência de aumento ou diminuição no número de casos, sendo os eventos extremos diários de maior frequência na primavera e no verão, enquanto os persistentes no inverno e ainda, que os casos extremos persistentes são mais frequentes na metade leste do estado do Rio Grande do Sul.

Como se constata, a variabilidade das chuvas que determinam as secas e as enchentes são eventos extremos de precipitação pluviométrica que ocorrem com frequência no Estado do Rio Grande do Sul. Esses dois eventos causam grandes impactos econômicos e sociais. As secas são fenômenos de desenvolvimento mais

imperceptível, progressão lenta, período de duração prolongado e ocorrência de diversos impactos com perdas e custos muito elevados e, diferentemente de outros desastres naturais, não incidem sobre infraestruturas físicas, mas sobre estruturas produtivas, ambientais e a vida das populações, com influências sociais frequentemente agravadas pela ação humana (Castro et al., 2003; Cunha, 2008; Silva, 2015). Já as enchentes são fenômenos de curta duração, podendo causar verdadeiras calamidades pelos danos materiais, como destruição de estradas, redes de transmissão elétrica, imóveis, veículos, móveis, utensílios domésticos, produtos perecíveis armazenados, deslizamento de terras, rompimentos de barragens, destruição nas lavouras, e morais, como contaminação biológica e química da água para consumo humano e alimentos, ocorrência de doenças de veiculação hídrica (leptospirose, hepatite A, doenças diarreicas) e até perdas humanas (Castro et al., 2003; Freitas; Ximenes, 2012), além do assoreamento de mananciais hídricos, o que limita a navegação e a geração de energia elétrica.

Dentre os eventos extremos acima da média da precipitação pluviométrica que ocorreram no Rio Grande do Sul desde o início do seu registro no estado (1909 em Porto Alegre e 1912 em mais locais) até o ano de 2024 a enchente mais lembrada, tanto pela sua quantidade e intensidade como pelos danos morais e materiais causados, foi a enchente de 1941 (Machado, 1950; Berlato, Fontana, 2003; Valente, 2018). Entretanto, no mês de maio de 2024, ocorreu uma enchente que causou uma grande catástrofe, inundando e destruindo cidades, casas, vias de transporte e redes de transmissão de energia elétrica, rompendo barragens em rios e de açudes, causando deslizamentos de terra, intenso assoreamento de cursos d'água, arraste de veículos, erosão em áreas de lavoura e mortes de humanos e animais e proliferação de doenças. Foi classificada pelo governo

estado como a "maior catástrofe climática da história do estado" (Borges; Chapola 2024; Florêncio, 2024; Monitchele, 2024).

Tendo em vista os danos materiais e morais causados pelas águas das enchentes de 1941 e 2024, causando uma calamidade catastrófica, é muito importante que os dados da precipitação pluviométrica desses eventos extremos sejam estudados e comparados, tanto abrangendo todo o estado, quanto uma Região Climática ou um local. Tendo em vista o exposto, o objetivo nesse trabalho foi apresentar e analisar os maiores extremos das precipitações pluviométricas registradas na estação meteorológica de Santa Maria nos anos da série histórica de 1912 a 2024, sobretudo, nas três maiores enchentes de 1941, 1984 e 2024, ocorridas em Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram utilizados os valores diários e os totais mensais da precipitação pluviométrica registrados na estação meteorológica de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia (8ºDISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), período de agosto de 1912 a julho de 2024. A estação meteorológica durante o período de 1912 a 1967 esteve instalada no perímetro urbano de Santa Maria e de 1968 até o momento (2024) na área do Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (latitude: 29°43', longitude: 53°42', altitude: 95m), entorno de 10km de distância, em linha reta. Essa distância não interferiu nos dados, pois dos totais mensais e anuais de todo o período de observação são homogêneos (Buriol et al., 2006).

Na realização do presente trabalho seguiu-se as seguintes etapas:

1° determinação dos valores médios e variabilidades mensais, calculados a partir dos totais mensais da precipitação pluviométrica (mm) no período de observação de 1912 a 2024;

2° nos meses com média da soma mensal superior a 140 mm mês^{-1} e coeficiente de variação superior a 65% foram identificados os anos com chuva mensal superior 450 mm;

3° determinação da soma dos totais mensais e a soma acumulada da chuva mensal dos meses de fevereiro a julho nos anos de 1941, 1984 e 2024;

4° determinação dos dados de precipitação pluviométrica diária ocorrida nos meses de abril e maio dos anos de 1941, 1984 e 2024;

5° determinação dos maiores valores extremos de precipitação pluviométrica diária e acumulada em três dias consecutivos para cada mês do ano, da série de 1912 a 2024, com os respectivos anos de ocorrência; e,

6° determinação do número de eventos com chuva acumulado superior a 100 mm e 200 mm ocorridos em três dias consecutivos.

A partir da soma dos valores dos totais diários e total mensal foi caracterizado o regime pluviométrico pelos valores médios da soma mensal e a variabilidade no período, representada pelo coeficiente de variação. A escolha dos anos de 1941, 1984 e 2024 ocorreu em função dos resultados encontrados, descrita na segunda etapa. Com os dados diários de precipitação pluvial foram calculados valores acumulados em três dias consecutivos como sendo uma soma móvel. Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e para a identificação dos valores extremos houve a aplicação de análise descritiva e de frequência.

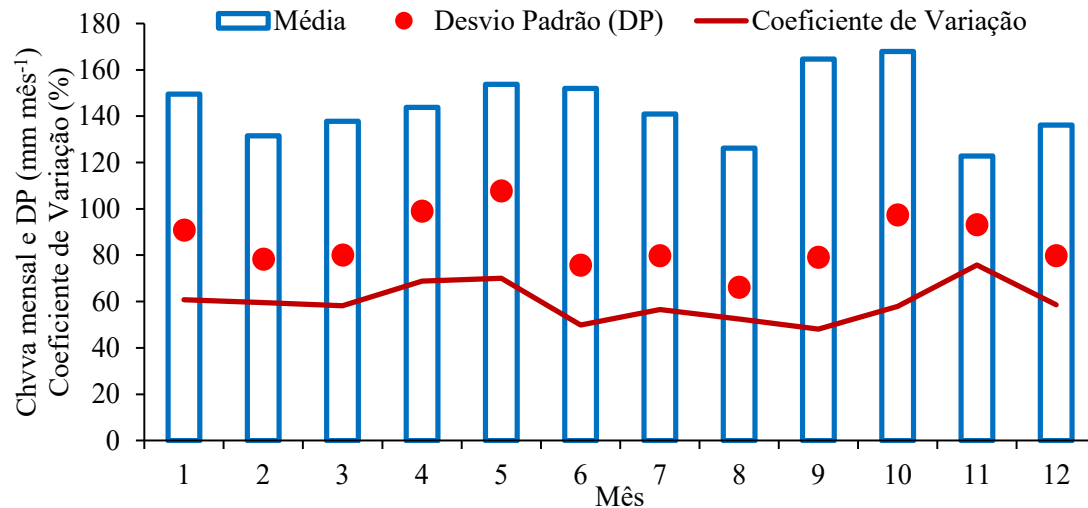
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação das médias das somas dos totais mensais da precipitação pluviométrica, série de dados de registro no período 1912-2024, em Santa Maria – RS se caracteriza como regime pluviométrico do tipo isoigro (Figura 1). Observa-se que, apesar dos valores médios dos meses de setembro e outubro serem os mais elevados, as médias de cada um dos doze meses do ano diferem menos de 17% da média mensal anual dos 112 anos analisados (1.724,87 mm ano^{-1}), podendo ser consideradas similares. Entretanto, embora ocorra similaridade na média entre os diferentes meses, há uma expressiva variabilidade na chuva mensal entre os anos, representada pelo coeficiente de variação, com valores desde 48,1% a 75,8% (Figura 1). Destacam-se os meses de abril e maio, com coeficientes de variação superiores a 68% além de médias mensais elevadas de precipitação, superior a 140 mm mês^{-1} , possivelmente devido aos frequentes eventos extremos positivos de precipitação em relação à média. O mês de novembro também se destaca por apresentar coeficiente de variação de 75,8%, contudo, há um valor médio mensal do período todo de apenas 122,8 mm mês^{-1} associado a um desvio padrão semelhante a outros meses de 93,1 mm mês^{-1} .

A ocorrência dos valores mais elevados de desvio em relação às médias, verificados em abril, maio e novembro, deve-se principalmente à influência dos fenômenos El Niño e La Niña. No final da primavera e início do verão, principalmente no mês de novembro, há um aumento no número de dias com precipitação pluviométrica nos eventos El Niño e uma redução nos eventos La Niña. No caso dos meses de abril e maio, ocorre um "repique" do El Niño, causado pelo aumento do aquecimento das águas do oceano Pacífico equatorial no final do outono, principalmente no mês de maio, com consequente ocorrência de precipitações

pluviométricas intensas e frequentes (Fontana; Almeida, 2002; Berlatto; Fontana, 2003).

Figura 1. Média e coeficiente de variação da soma mensal da precipitação pluviométrica ocorrida no período de 1912 à 2024 em Santa Maria – RS.

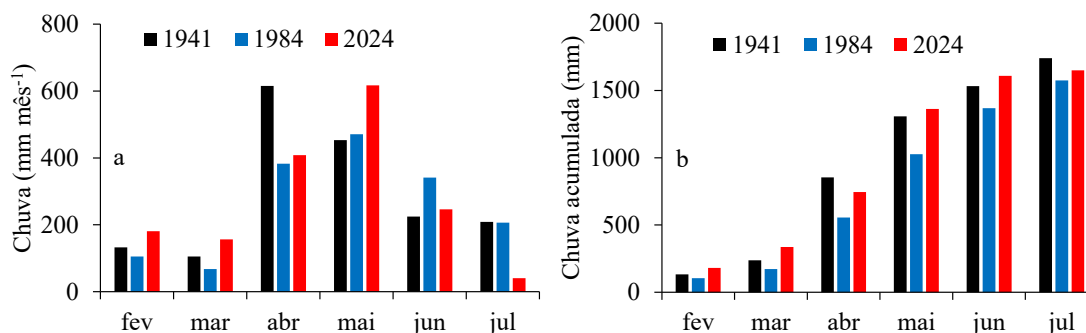


Fonte: Autores (2024)

Na Figura 2 tem-se a soma dos totais mensais da chuva mensal (a) e acumulada (b) de fevereiro a julho de 1941, 1984 e 2024, nos quais observou-se altos valores mensais nos meses de abril e maio. Por exemplo, os maiores valores registrados nos 112 anos foram de 615,3 mm mês⁻¹, 471,0 mm mês⁻¹ e 617,1 mm mês⁻¹, respectivamente, em 1941, 1984 e 2024 (Figura 2a). Estes valores elevados reiteram a alta variabilidade da soma do total mensal da precipitação pluviométrica nesses dois meses, quando comparado ao valor médio verificado da Figura 1. Uma constatação que evidencia maiores alturas da lâmina de água de precipitação pluviométrica de 2024, em

relação à 1941 e 1984, reside nos acumulados de chuva mensal em seis meses, iniciados a partir de fevereiro de cada ano (Figura 2a). Nesse caso, até maio de 2024 a precipitação pluviométrica foi 4,3% e 32,7% maior do que o registrado no mesmo período de 1941 e 1984, respectivamente. Outra condição que possivelmente tenha contribuído para uma maior vazão de água excedente em maio de 2024 em relação a enchente de 1941, é o armazenamento de água no solo provavelmente estar no limite máximo já no início do mês, devido a um acumulado maior de precipitação no mês antecedente a enchente em 2024.

Figura 2. Soma dos totais mensais da chuva (a) e acumulada (b) de fevereiro a julho nos anos de 1941, 1984 e 2024 em Santa Maria-RS.



Fonte: Autores (2024)

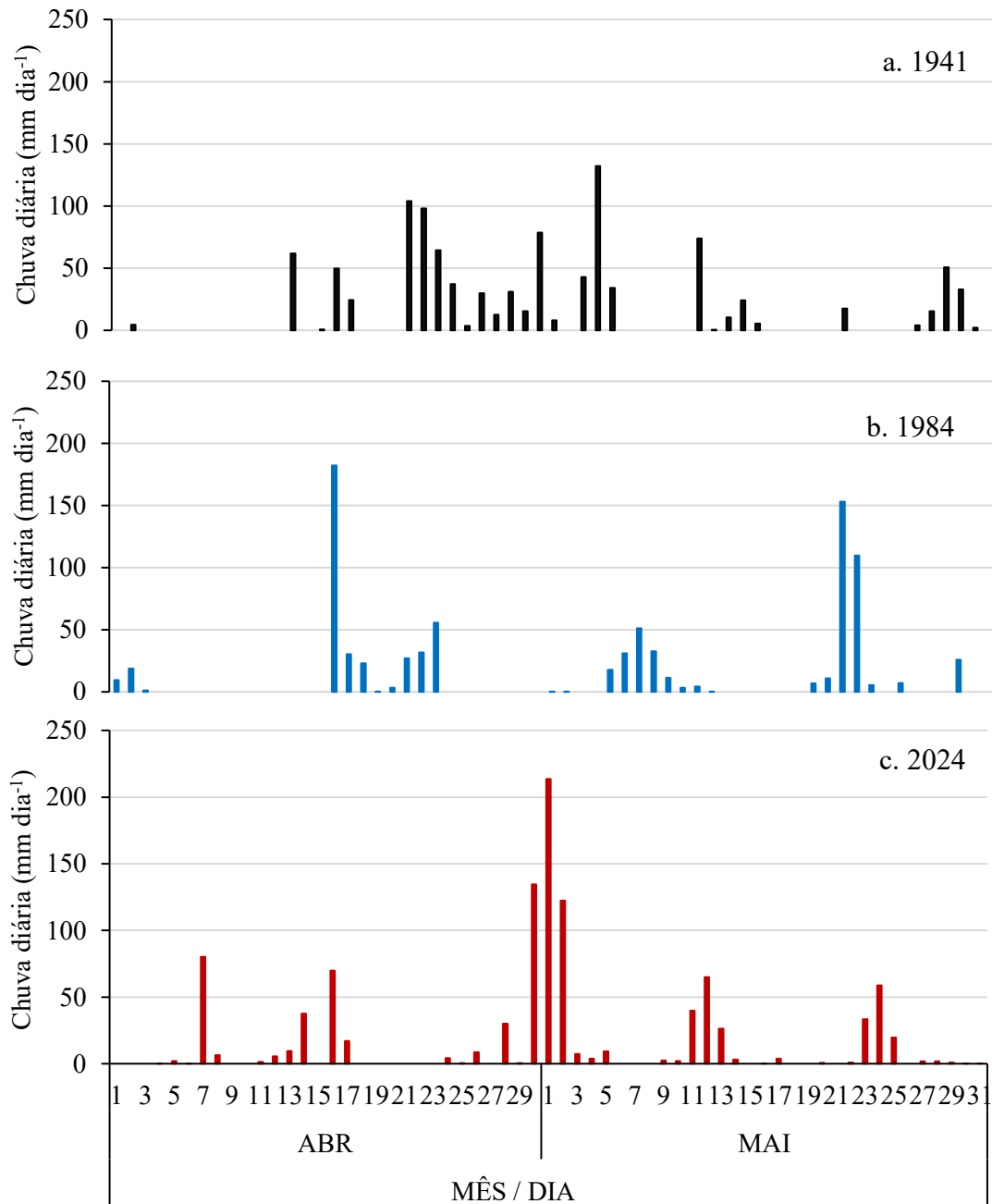
Ao comparar os valores diários de chuva nos meses de abril e maio de 1941, 1984 e 2024, observa-se que apenas no ano de 2024 ocorreram três dias seguidos com chuva superior a 120 mm dia^{-1} (Figura 3c). Em 1941 (Figura 3a) e 1984 (Figura 3b) também ocorreram intensidades de chuvas superiores a 120 mm dia^{-1} , entretanto, foram eventos em dias alternados. Na China ocorrem eventos semelhantes por conta da ocorrência de tufões e outros eventos meteorológicos (Chen; Zhai, 2013). Em períodos mais chuvosos no Rio Grande do Sul as chuvas decorrem de frentes com deslocamento lento, permanecendo por mais tempo sobre a região (Serra, 1969), fato que ocorreu em 2024 na região de Santa Maria.

O ano de 2024 se destaca em relação aos demais anos não só pelos três dias seguidos com chuva superior a 120 mm.dia^{-1} , mas também pelo maior valor diário de $213,6 \text{ mm dia}^{-1}$ já registrado em toda a série histórica de 112 anos (Figura 4a). A soma acumulada dessa chuva extrema ocorrida em três dias seguidos no ano de 2024 foi de

$470,7 \text{ mm}$, sendo superior em 68,8%, 76,7% e 72,2% à maior soma de chuva em três dias consecutivos registrados em 1918, 1941 e 1984, respectivamente. Principalmente a essa condição extrema é que se pode atribuir as implicações tanto materiais como morais mais drásticas em 2024 que em todos demais registros da série histórica das chuvas ocorridas em Santa Maria no período de 1912 a 2024.

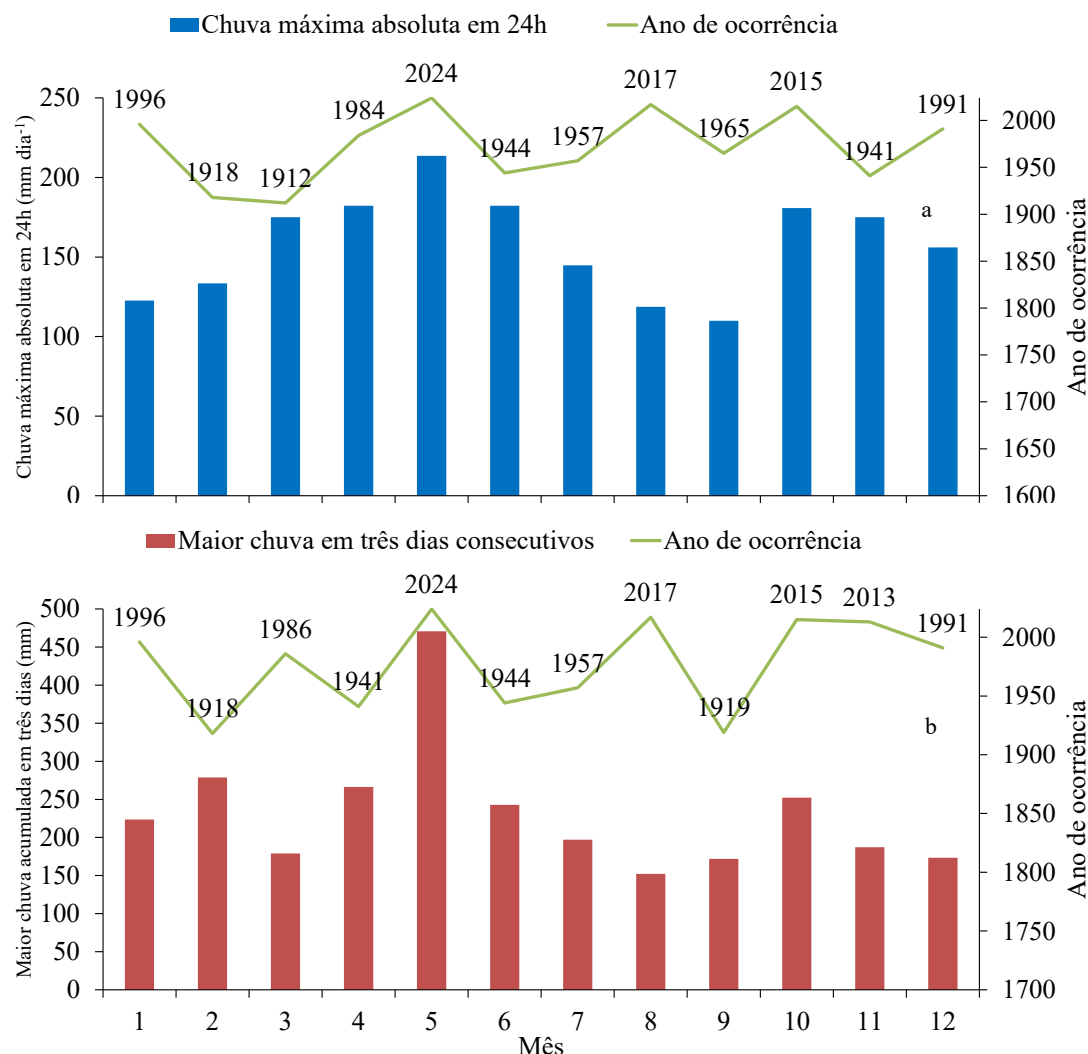
O mês de maio de 2024, além da máxima absoluta diária de $213,6 \text{ mm dia}^{-1}$, foi também aquele com maior extremo de chuva acumulada em três dias consecutivos em toda série histórica de 1912 a 2024 (Figura 4b). Destaca-se, ainda, que quatro eventos extremos de chuva ocorreram nos últimos dez anos, três ocorreram entre 10 e 50 anos e cinco a mais de 50 anos. O mês de abril foi mais drástico em 1941 e, sem contar com os dados de 2024, em 1984 no mês de maio já havia ocorrido o maior valor acumulado de precipitação em três dias consecutivos desde 1912 ($273,4 \text{ mm}$).

Figura 3. Precipitação pluviométrica diária ocorrida nos meses de abril e maio dos anos de 1941 (a), 1984 (b) e 2024 (c) em Santa Maria-RS.



Fonte: Autores (2024)

Figura 4. Valores extremos de chuva acumulada em 24h e em três dias no período de 1912 a 2024 e o respectivo mês e ano de ocorrência, em Santa Maria-RS.

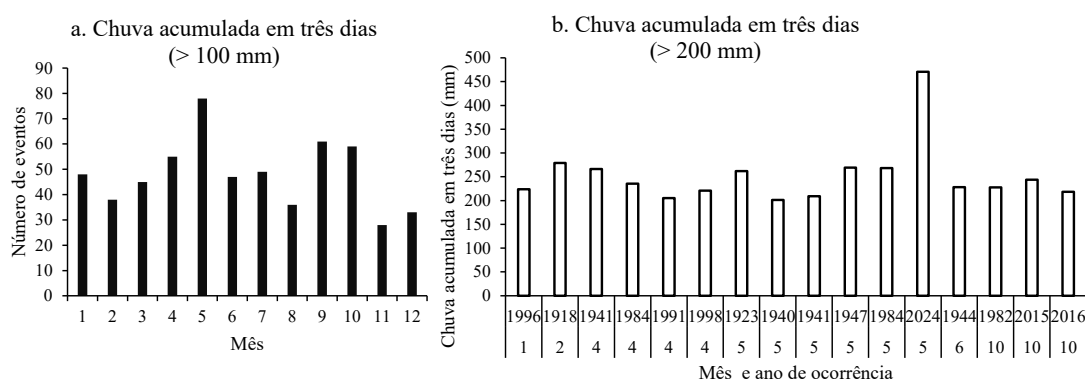


Fonte: Autores (2024)

Levando em consideração a frequência de ocorrência de eventos com chuvas acumuladas em três dias que sejam superiores a 100 mm, foi verificado que o mês de maio apresentou o maior número de eventos ao longo dos 112 anos de observações (Figura 5a). Abril, setembro e outubro são outros meses com frequências expressivas. Nos meses de setembro de outubro há o efeito do fenômeno de macroescala El Niño que determinam chuvas frontais estacionárias (Puchalski, 2000; Fontana e Berlato, 1997; Britto, Barletta e Mendonça, 2008).

Além disso, nos eventos extremos com chuva acumulada em três dias superiores a 200mm, verificou-se também que maio apresentou mais ocorrências (seis), seguido de abril (quatro), outubro (três), fevereiro, junho e janeiro com um em cada (Figura 5b). No entanto, exceto em maio, em nenhum outro mês do ano ocorreu precipitação acumulada maior do 280 mm em três dias consecutivos. Teixeira e Prieto (2020) constataram no período de 2004 a 2013 que a distribuição de chuvas persistentes em função da duração foi maior no trimestre de ocorrência do inverno.

Figura 5. Número de eventos com chuva superior a 100 mm acumulados (a) e eventos de chuva acumulada superiores a 200 mm (b) ocorridos em três dias, no período de 1912 a 2023, em Santa Maria-RS.



Fonte: Autores (2024)

Embora haja chuvas mais persistentes que três dias consecutivos, há que se observar que a condição ocorrida em 2024 superou 120 mm em cada um dos três dias. Tal situação gerou problemas de grande escala tanto nas cabeceiras dos rios, pela elevada energia cinética da água, como nas partes mais baixas das microbacias pela rápida concentração da água, gerando inundações. Nas culturas implantadas na primavera-verão da safra 2023-2024 no estado do Rio Grande do Sul houve muitas perdas por parte dos cultivos ainda se encontrarem em período de colheita, com perdas estimadas de 2.714.151 Mg de soja, 354.189 Mg de milho, 721.226 Mg de milho silagem, 160.664 Mg de arroz e 18.244 Mg de feijão (Tazzo et al., 2024). Isso reforça a necessidade de monitoramento das condições propulsoras de precipitações intensas e persistentes, tanto para uso na previsão como para a confirmação de uma situação mais extrema do que a indicada pelos próprios modelos de previsão numérica, amplamente difundidos.

6 CONCLUSÕES

A maior chuva diária e acumulada em três dias consecutivos, no período de 1912 a 2024 em Santa Maria-RS,

respectivamente, é de 213,6 mm dia⁻¹ e de 470,7 mm, ocorrendo em maio de 2024.

A soma do total das chuvas do mês de abril de 1941 e de maio de 2024 são as mais elevadas da série histórica de 1912 a 2024 em Santa Maria-RS.

Maio é o mês com maior número de eventos extremos de chuva com valor acumulado em três dias consecutivos acima de 100 mm e 200 mm em 112 anos de observação em Santa Maria-RS.

7 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. C. de **Memórias sobre o clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, 1930, 101 p.

ASSIS, F. de A.; MARTINS, S. R.; MENDEZ, M. E. G. Anomalias da precipitação pluvial mensal do Rio Grande do Sul associadas ao El Niño e La Niña. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 10, Piracicaba, 1997. **Anais [...]**. Piracicaba - ESALQ/USP - Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p. 83-285.

ÁVILA, A. M. H. **Regime de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul**

- com base em séries de longo prazo. 1994, 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 1994.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Ed. da UFRGS. 110 p., 2003.
- BLAIN, G. C.; PIEDADE, S. M. de S.; CAMARGO, M. B. P. de; GIAROLLA, A. Distribuição temporal da precipitação pluvial mensal observada no posto meteorológico do Instituto Agrônomo, em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.347-355, 2007.
- BORGES, L.; CHAPOLA, R. Sobe para 166 mortos no RS; Porto Alegre tem mês mais chuvoso em 108 anos. **Revista Veja**. Publicado em 10 de maio de 2024. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/sobe-para-166-mortos-no-rs-porto-alegre-tem-mes-mais-chuvoso-em-108-anos#:~:text=O%20n%C3%ADvel%20do%20lago%20Gua%C3%ADba,trovoadas%20i soladas%20na%20capital%20ga%C3%BAha>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 22 jul. 2024.
- BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.3 & 4, p.38-48, 2008.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; FERREIRA, M. Cartas mensais e anual das chuvas do Estado do Rio Grande do Sul. **Rev. Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, n.1, v. 7, p. 55-82, 1977.
- BURIOL, G. B.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A.; D'AVILA, R. F.; HELDWEIN, A. B. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 11, n. 4, p. 89-97, 2006.
- CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R. de; FARIA, L. C.; SOUZA, M. R. de; GUEDES, H. A. S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v. 19, n. 3, p. 197-203, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p197-203>.
- CASTRO, A. L. C.; CALHEIROS, L. B.; CUNHA, M. I. R.; BRINGEL, M. L. N. da C. **Manual de Desastres: Desastres Naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.
- CHEN, Y.; ZHAI, P. Persistent extreme precipitation events in China during 1951-2010. **Climate Research**, V. 57, p. 143–155, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01171>
- CRITCHFIELD, H. J. **General climatology**. 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1974, 446 p.
- CUNHA, R.L.A. **Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas**. 2008.147f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto). Porto. 2008.

- FLORENCIO, L. A maior catástrofe climática da história do sul do Brasil: o retrato da crise socioambiental. **Movimento Laudato Si**. Maio de 2024. Disponível em: <https://laudatosimoviment.org/pt/news/a-maior-catastrofe-climatica-da-historia-do-sul-do-brasil-o-retrato-da-crise-socioambiental/#:~:text=Portugu%C3%AA,s-,A%20maior%20cat%C3%A1strofe%20cli,m%C3%A1tica%20da%20hist%C3%B3ria%20do%20sul%20do,o%20retrato%20da%20crise%20socioambiental&text=N%C3%A3o%20existem%20crises%20separadas%3A%20um,um%20retrato%20dolorido%20dessa%20realidade>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- FONTANA, D. C.; ALMEIDA, T. C. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n.1, p.135-1145, 2002.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n.1, p.127-132, 1997.
- FREITAS, C. M. de; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública - uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6. p. 1601-1615, 2012.
- INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Atlas agroclimático do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989, 102 p. (v.1).
- MACHADO, F. P. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1950, 91 p.
- MATZENAUER R.; VIANA D. R.; BUENO A. C.; MALUF J. R. T.; CARPENEDO C. B. Regime anual e estacional de chuvas no Rio Grande Do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracajú -SE. **Anais do Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Aracajú - SE, 2007.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de (Editores). **Atlas Climático: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011, 185p.
- MONITCHELE, M. De 1941 a 2024: por que as enchentes são desafio constante no RS. **Revista Veja**. Publicado em 8 de maio de 2024. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/ciencia/de-1941-a-2024-porque-as-enchentes-sao-desafio-constante-no-rs#:~:text=As%20mudan%C3%A7as%20ocasionadas%20pelo%20aquecimento,estrutur,as%20de%20controle%20das%20%C3%A1guas>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- MOTA, F. S. da; BEISRDORF, M. I. S.; GARZEZ, J. R. B. **Zoneamento Agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Circular nº 50, IPEAS, Pelotas, RS Vol. 1, 80p 1971.
- PAUWELS, G. J. Subsídios para uma climatologia para o Rio Grande do Sul. **Egatea**. Porto Alegre, v.11, n.2, p 109-116, 1926.
- PAUWELS, G. J. Subsídios para uma climatologia para o Rio Grande do Sul. **Egatea**. Porto Alegre, v.11, n.3, p 151-157, 1926b.

PAUWELS, G. J. Subsídios para uma climatologia para o Rio Grande do Sul. **Egatea**. Porto Alegre, v.11, n.4, p. 239-245, 1926c.

PAUWELS, G. J. Subsídios para uma climatologia para o Rio Grande do Sul. **Egatea**. Porto Alegre, v.12, n 1, p. 1-16, 1927.

PUCHALSKI, L. A. **Efeitos associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Estado do Rio Grande do Sul**. 2000. 83p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2000.

SERRA, A. Anos secos e chuvosos no Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, n. 212, p.37-74, 1969.

SILVA, M. V. da. **Análise sazonal do regime hídrico do Rio Grande do Sul no período de 1977 a 2006: impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Estado em 2006**. 2010, 120f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia / Programa de Pós-Graduação em Meteorologia) - Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas, 2010.

SILVA, G. M. da. **Avaliação da ocorrência de seca no Estado do Rio Grande do Sul**. 2015. 126f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água / Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água) - Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Pelotas, 2015.

TAZZO, I. F.; VARONE, F.; JUNGES, A. H.; CARDOSO, L.S. Condições meteorológicas ocorridas em maio de 2024 e situação das principais culturas agrícolas no estado do Rio Grande do Sul. **Comunicado Agrometeorológico**, Porto

Alegre, n. 70, p. 6-30, maio 2024.

Disponível em:

<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/14142646-comunicado-agrometeorologico-70-maio-2024-final.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2024."

TEIXEIRA, M. da S.; PRIETO, R. B. Eventos Extremos de Chuva no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: Definição dos Eventos e Estatísticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 45-52, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635102>.

VALENTE, P. T.; AQUINO, F. E. Registros históricos e reanálises na precipitação do Rio Grande do Sul de 1901 a 1960. **Revista de Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, ed. Especial, p. 3–20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e02018447-462>.

VALENTE, P. T. **Eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul no século XX a partir de dados de reanálise e registros históricos**. 2018, 99 f. Dissertação (Mestrado / Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências - IGEO/UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

VIANA, D. R. **Comportamento espaço-temporal da precipitação na região sul do Brasil utilizando dados TRMM e SRTM**. 2009. 162f. Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos - SP, 2009.

WAGGONER, P. E., Anticipating the frequency distribution of precipitation if climate change alters its mean. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 47, p. 321-337, 1989.