

## Capítulo I

### **EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL (2023–2024): ANÁLISE ESPACIAL COM ÊNFASE NA PLANÍCIE COSTEIRA**







## EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL (2023–2024): ANÁLISE ESPACIAL COM ÊNFASE NA PLANÍCIE COSTEIRA

Julia Hardt Gomes<sup>1</sup>, Bruno da Silva Telles<sup>2</sup>, Éder Leandro Bayer Maier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande, Laboratório de Climatologia e Cartografia, liahardt16@gmail.com (autora correspondente), brunodasilvatelles@gmail.com, edermaier@gmail.com.

### RESUMO

Os eventos climáticos extremos que ocorreram entre setembro de 2023 e maio de 2024, no RS, evidenciam alguns dos resultados da variabilidade climática responsável por impactar a sociedade, atingindo 478 municípios, dos 497 existentes no estado do Rio Grande do Sul, os deixando em SE ou ECP. A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) possui uma morfologia que difere do restante do estado, com relevo baixo e plano, o que lhe conferiu um comportamento diferente durante as cheias no RS. Em municípios onde a Laguna dos Patos está presente, o comportamento das cheias foi de elevação lenta, porém contundente. Contudo, essa elevação das cotas d'água, gradualmente, acabou por prejudicar quase a totalidade dos municípios da PCRS, seja em suas sedes ou em zona rural. Estudos, como o do Pluviômetro Automático, possibilitaram a coleta e a comparação de dados pluviométricos que apresentaram uma grande amplitude de variação frente à ocorrência de um *El Niño* forte, e dados como os disponibilizados pelo INMET mostram uma variação das chuvas entre 0 e 773 mm. Os dados brutos, como os volumes mensais coletados, criaram uma espacialidade dos fenômenos ocorridos e apontam para compreensão da eficiência ou deficiência das formas de monitoramento da chuva. Adicionalmente, à análise realizada, dá ênfase aos impactos da inundação na PCRS, e das condi oes ambientais da rela o homem-natureza, que tornam mais complexas o monitoramento e a interpreta o de dados climáticos frente   ocorrência de eventos extremos.

Palavras-chave: Eventos extremos; Variabilidade climática; Climatologia; Cartografia

### ABSTRACT

The extreme weather events between September 2023 and May 2024 in Rio Grande do Sul present some results of climate variability and its impacts on society. The total number of municipalities affected was 478 of the 497 municipalities in the State of Rio Grande do Sul - Emergency State or Public Calamity State. The Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRS, in Portuguese, Planície Costeira do Rio Grande do Sul - PCRS) has a totally different morphology from the rest of the state since it has low and flat relief; therefore, its behavior will be totally different during

floods in RS. In municipalities where the Laguna dos Patos is present, the behavior of the floods was one of slow but forceful rise. This caused a very slow worsening of the flooding in almost all the municipalities in the PCRS because it affected the capital cities and the other municipals. Studies like the Automatic Rain Gauge allowed data to be collected and compared. Rainfall data proved very dynamic during the study period, presenting considerable extremes of variability with a very severe *El Niño* event. Data from INMET (National Meteorology Institute) basically spelled out rainfall variability between zero and 773 mm, mean rainfall. Raw data includes monthly accumulated volumes that can generate spatial analysis of the events and help in understanding how effective or weak current means of monitoring precipitation are. In addition, the analysis focuses on the damage caused by floods in the PCRS, since environmental conditions and the interrelations between people and their environment make the interpretations of climate data practice full when extreme events are involved.

Key-words: Extreme events; Climate variability; Climatology; Cartography

### INTRODU O

Os eventos climáticos extremos evidenciados entre setembro de 2023 e maio de 2024, por ocorrência do *El Niño* Oscila o Sul (ENOS), afetaram 2.398.255 pessoas, com 806 feridos, 183 mortos e 27 desaparecidos em todo o território do Rio Grande do Sul . Conforme o decreto 57.646, da Defesa Civil do Rio Grande do Sul, de 31 de maio de 2024, dos 478 municípios atingidos (96% dos municípios do RS), 418 decretaram anormalidades pelo governo do Estado, com 323 municípios decretando Situa o de Emergência (SE) e 95 em Estado de Calamidade Pública (ECP).

Diante disso, segundo a Confedera o Nacional dos Municípios, as consequências financeiras no Estado estão avaliadas em 12,8 bilhões de reais em maio (CNM, 2024), e, mais recentemente, em novembro, com cerca de 89 bilhões, segundo relatório do Banco Interamericano

de Desenvolvimento (BID, 2024). Além disso, as repercussões das cheias poderão seguir sendo observadas nos próximos anos, em diversos níveis e complexidades e em diferentes locais do RS. Ainda, em matéria veiculada na página da Gaúcha Zero Hora (GZH), as enchentes e inundações levaram a um número total de 615 mil pessoas desabrigadas, sendo que 538.164 ficaram em casas de familiares e 77.199 em abrigos improvisados pelo Estado. A parcela total de atingidos diretamente pelos eventos representa aproximadamente 22% da população total do Estado, considerando os dados do último Censo (IBGE, 2022).

Diante de tais informações, pode-se confirmar que o monitoramento e a coleta de dados meteorológicos e climáticos são os alicerces das ciências de base e aplicada, nesse contexto, o Brasil mantém o monitoramento atmosféricos a partir de observações meteorológicas, principalmente em estações meteorológicas automáticas, mantidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Bem como, há projetos financiados e instituições colaboradoras que mantêm equipamentos de observação por tempo determinado, como, por exemplo, o projeto “Pluviômetro Automático: Coleta, armazenamento e análise geoquímica da água da chuva do Rio Grande do Sul”, os quais desenvolveram e fabricaram um pluviômetro que coleta e armazena a água da chuva por até 12 meses, com resolução mensal, a fim de mensurar a razão isotópica do Oxigênio dezoito e do deutério de hidrogênio. No entanto, nessa pesquisa não será explorada a geoquímica da água da chuva.

No período entre agosto de 2023 a maio de 2024, ocorreu a coleta e armazenamento da água da chuva pelo projeto “Pluviômetro Automático: Coleta, armazenamento e análise geoquímica da água da chuva do Rio Grande do Sul” e, infelizmente, nessa janela temporal também ocorreram eventos extremos de precipitação no RS como, por exemplo, em setembro de 2023 e maio de 2024. Além disso, merecem destaque as dificuldades de realizar observações meteorológicas e climáticas durante os eventos extremos, pois é comum haver falhas de funcionamento das estações. Essas falhas podem

ocorrer devido às interrupções de energia, avarias em função dos fortes ventos e chuvas intensas, etc. Contudo, podem ser corrigidas e substituídas por dados interpolados no tempo ou no espaço, ou preenchidos com medidas de tendência central da estatística descritiva. Nessas situações, onde há correção de dados, pode ocorrer uma discrepância entre o valor real do interpolado.

Os resultados apresentados neste artigo visam apresentar duas fontes de dados dos totais mensais da precipitação no RS (INMET e do projeto do Pluviômetro Automático: Coleta, armazenamento e análise geoquímica da água da chuva do Rio Grande do Sul) e discutir suas semelhanças e assimetrias, especialmente por serem dados brutos. Em outras palavras, não são consistidos e possuem algum preenchimento de falhas. Além disso, haverá o propósito de discutir os eventos extremos de precipitação, com ênfase na planície costeira e seus impactos socioeconômicos no evento de maio de 2024, visando elucidar a importância do monitoramento e coleta de dados de forma organizada, eficiente e contínua, principalmente nos períodos de eventos extremos, e da necessidade do planejamento socioambiental que depende das informações possibilitadas pelo eficaz monitoramento e da ciência de base.

A importância do monitoramento e continuidade da coleta dos dados tem grande relevância em um cenário de variabilidade climática, que se atrela à realidade material da sociedade. Diante disso, as mudanças necessárias ao enfrentamento e à resiliência climática são propostas do programa da Organização das Nações Unidas (ONU), responsável por estabelecer os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável, como o Objetivo 13, o qual traz como título: “Ação Contra a Mudança Global do Clima”, e cria algumas metas, visando contribuir com a organização de metodologias para Estados em desenvolvimento, a fim de criar formas de mitigação dos efeitos resultantes dessas alterações climáticas.

### **Caracterização da área de estudo**

O Rio Grande do Sul é a unidade federativa mais meridional do Brasil, junto à Região Sul, situa-se em médias latitudes, com seu clima

determinado pela posição e intensidade da alta subtropical do Atlântico Sul, lhe conferindo um clima subtropical úmido (ROSSATO, 2011). Além de apresentar estações do ano bem definidas, com médias pluviométricas bem distribuídas e uniformes, com maior amplitude térmica ao longo do ano, em relação ao restante do país, conforme visto em GRIMM (2009, p. 274). Em relação a sua geologia, divide-se em cinco unidades geomorfológicas: Planalto Norte-Rio-Grandense (Planalto Meridional), Cuesta do Haedo, (parte do Planalto Meridional erodido), Depressão Central, Escudo Sul-Rio-Grandense (Serras de Sudeste) e Planície Costeira.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) se estende por cerca de 620 km no território gaúcho, do Rio Mampituba, à cidade de Torres, na parte mais ao Norte do litoral gaúcho, até o Arroio Chuí, no extremo Sul, como pode ser observado na imagem 1. Tendo como característica morfológica um terreno baixo e arenoso, possuindo formação rochosa somente em Torres, BARBOZA et al. (2009). Na PCRS encontra-se a Laguna dos Patos e Lagoa Mirim, grandes lagos em seu interior, a primeira e maior laguna da América Latina, responsável por receber as águas, tanto da

Região Hidrográfica do Guaíba, como da Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas. A Laguna dos Patos possui uma estreita ligação com o Oceano Atlântico, a barra do Rio Grande, por onde escoam suas águas.

## METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos apresentam as fontes e características dos dados, o pré-processamento e processamento das séries históricas e as análises propostas.

## Dados

Para a construção dos mapas de distribuição espaço-temporal, foram utilizados dados retirados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e analisadas 42 estações de coleta. Essas estações foram escolhidas em relação à proximidade com os pluviômetros instalados, sendo somadas mais 12 estações que gerassem uma camada mais densa de dados, suprimindo eventuais falhas. No site do INMET, podem ser encontrados os totais mensais de forma simples e rápida, porém, em alguns casos, foi necessário o *download* das tabelas na extensão denominada “.csv”, dos valores horários para que fossem somados e resultassem nos totais mensais

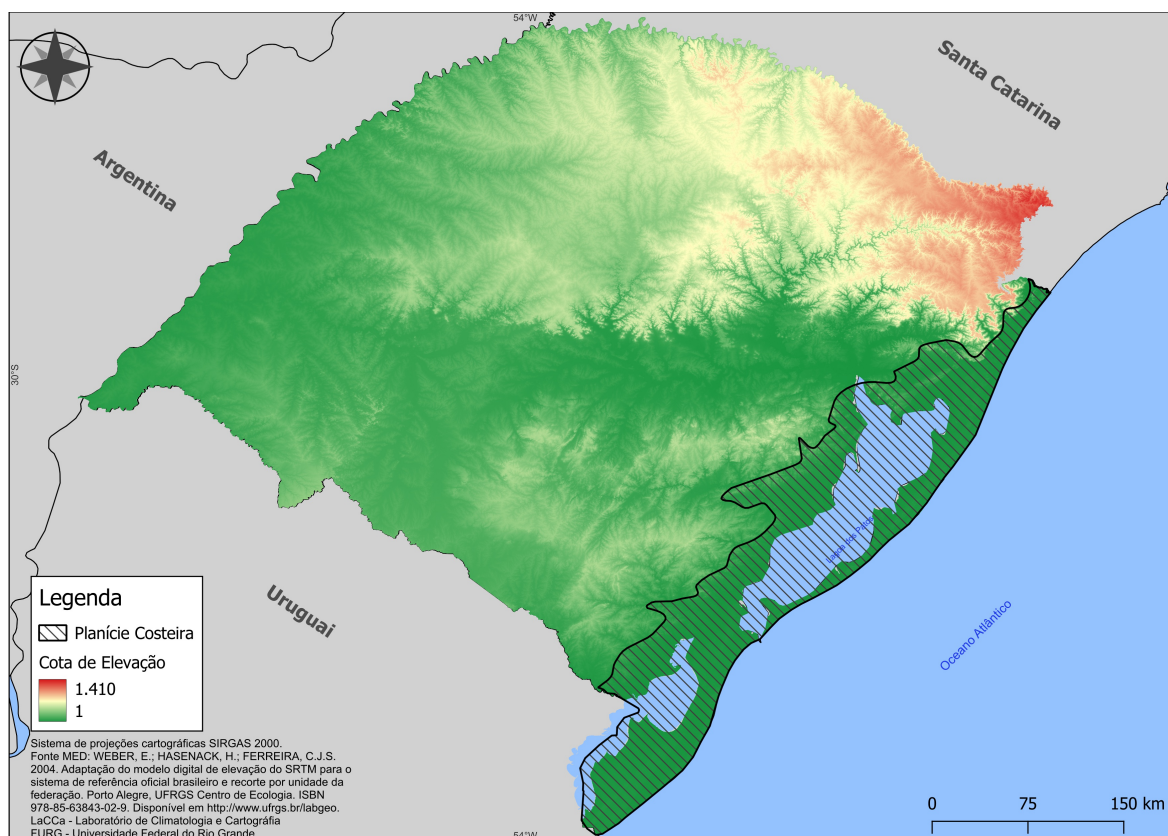


Figura 1. Mapa de Hipsometria do Rio Grande do Sul.

da estação. Esse processo foi necessário em locais onde a estação apresentava alguma falha horária ou diária, o INMET desconsiderava o total mensal não aparecendo na página inicial. Posteriormente, os valores mensais foram inseridos em uma tabela que continha o código da estação, nome da cidade instalada, sua latitude e longitude.

Para este estudo foram utilizados dados próprios, provenientes dos pluviômetros construídos no projeto “Pluviômetro Automático: Coleta, armazenamento e análise geoquímica da água da chuva do Rio Grande do Sul”. Esses equipamentos foram desenvolvidos no Laboratório de Climatologia e Cartografia (LaCCa), da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), sob orientação do Prof. Dr. Éder Maier. O pluviômetro é constituído de um cano de PVC de Ø250mm, possuindo cerca de 80 cm de altura, em seu interior estão dispostos 12 frascos de armazenamento da água coletada, alimentados por mangueiras de PVC de 10 mm. Os frascos utilizados foram escolhidos segundo o Manual GNIP (2014), sendo frascos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) na cor branca, atóxicos e utilizados nas indústrias agroquímicas e fármacos.

Sendo assim, o funcionamento e inovação do pluviômetro gira em torno de sua capacidade de armazenamento e preservação das amostras, sendo gerados por três mecanismos idealizados para a preservação isotópica da água coletada. O primeiro mecanismo localizado na tampa é a vedação da mangueira com esferas. Uma das preocupações deste projeto foi justamente a perda de amostras, devido à evapotranspiração da água, logo, dois dos mecanismos foram desenvolvidos visando reduzir a área de exposição da água. Um deles é o diâmetro da mangueira em relação ao frasco que apresenta um diâmetro interno de 80 mm e a mangueira de 10 mm, gerando um aprisionamento de água na mangueira. Outro mecanismo de vedação foi a construção de um mecanismo em *looping* que após a primeira coleta do mês, aprisiona 10 ml na cânula, atuando como um redutor na área de exposição da água e da evaporação no frasco, atuando como um condensador da água evaporada.

Em relação ao funcionamento do pluviômetro, o equipamento foi originalmente

pensado em operar de forma automática, porém em seu início não foi possível realizar a automação dos equipamentos. Então, optou-se por instalar os pluviômetros em locais onde seriam de fácil acesso à rede de colaboradores responsáveis pela realização do “giro mensal”. Esse giro faz parte do mecanismo responsável por alterar o frasco de coleta do equipamento e veda no mês anteriormente coletado, preservando a amostra para coleta e análise futura.

Os dados referentes ao mapa dos municípios em SE e ECP, conforme o decreto 57.646 disponibilizado pela Defesa Civil, em 31 de maio de 2024 (DEFESA CIVIL, 2024), foram pré-processadas em tabelas e inseridas no *software* QGIS, no qual foi realizada a união do texto com uma camada vetorial georreferenciada. Adotaram-se referenciais em diferentes cores, nos quais o vermelho foi para os municípios que decretaram ECP, amarelo para aqueles que declararam SE e cinza para os que não declararam nenhuma das duas situações. Criou-se, também, para que fosse observada a região geomorfológica da planície costeira, uma camada vetorial que demarcasse a mesma e o processamento de dados para obter a altimetria do terreno, com um mapa de hipsometria.

Em relação à altitude do Estado gaúcho, os dados para a confecção do mapa de hipsometria foram obtidos do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), cobrindo a maioria do globo com resolução de 30 metros. Esses dados estão disponíveis no Laboratório de Geoprocessamento, do Centro de Ecologia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e foram processados no *software* QGIS, a fim de analisar a inclinação do terreno, atribuíram-se as cores que variam do verde para o vermelho, ajudando a compreender a cota altimétrica do Estado e seu relevo de forma gráfica.

### **Processamento e cartografia**

Os dados utilizados na produção dos mapas foram obtidos através do INMET, sendo selecionadas 42 estações com a coleta das informações referentes aos totais pluviométricos mensais, tais valores passaram por um pré-processamento em tabelas e inseridos no *software* QGIS na versão 3.48, onde foi realizada uma

interpolação IDW (Ponderação de Distância Inversa, sigla do inglês). A escolha deste processo metodológico se evidencia pela ausência de algumas informações para completar a malha ajudando para o preenchimento destas lacunas e interpolação dos dados. Evidencia-se que a utilização das informações e a quantidade de estações 42, foram suficientes para validação dos dados. Esses resultados são responsáveis por gerar uma superfície por meio de pontos conhecidos e georreferenciados.

A superfície passou por um recorte de malha territorial, utilizando a malha do Estado para uma visualização mais clara e foi posteriormente colorido com uma rampa personalizada de cores, apresentando 12 classes, variando do marrom ao roxo. Sendo necessária para a demonstração da amplitude dos volumes de precipitação encontrada no recorte temporal escolhido. Nas tabelas de dados do INMET, e do “Projeto Pluviômetro”, ocorreram algumas falhas que não foi possível a correção. Nesses casos foram adotados os valores NaN e Null, para que o *software* QGIS não interpretasse o valor e gerasse o mesmo a partir de pontos próximos, o que resultava em uma camada mais uniforme de dados.

## RESULTADOS

A precipitação no Rio Grande do Sul entre agosto de 2023 e julho de 2024 (Figura 2) apresenta grande variabilidade espacial e temporal, especialmente pela ocorrência de um evento El Niño forte. Bem como, registrou-se duas inundações, em setembro de 2023 e maio de 2024. Em setembro de 2023 (Figura 2B), observam-se elevados totais mensais de precipitação nas regiões Central e Norte, com registros superiores a 680 mm, causando inundações nas bacias hidrográficas dos rios Camaquã e Taquari.

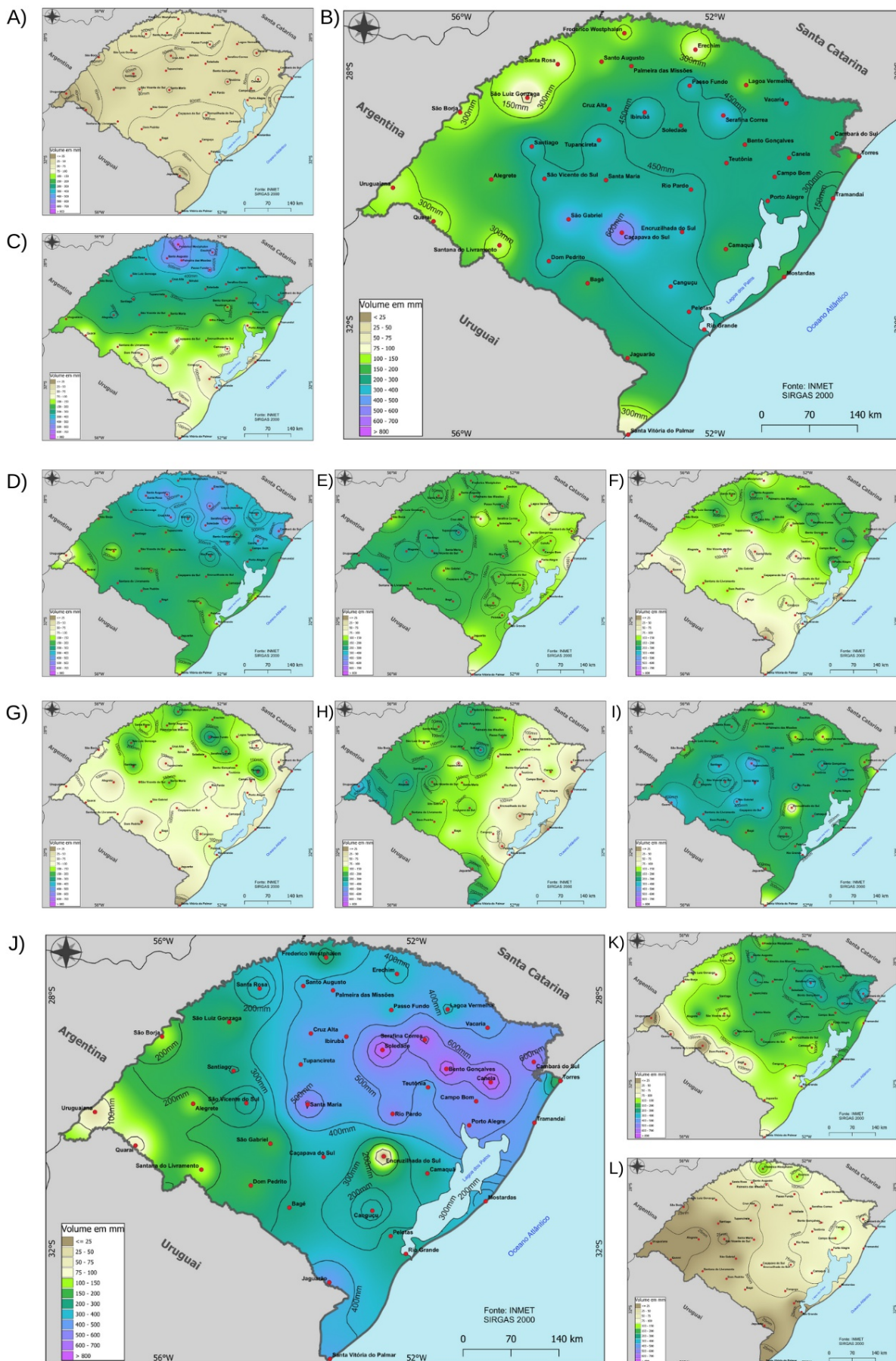
Entre dezembro de 2023 e março de 2024 (Figura 2E, F, G e H), observa-se que os totais mensais estão abaixo da média ou próximos da média, evidenciando que mesmo em anos de extremos chuvosos, sob efeito de um evento do *El Niño* forte, há registros de precipitações, períodos de escassez, ou mesmo da ausência de chuvas (0mm). Ao longo de um mês, especialmente a porção Sul e Leste do RS, seja pela permeabilidade

do solo, ou de rochas pouco porosas, associadas à radiação solar do verão austral, acabou por gerar um déficit hídrico para os principais cultivos de verão. Evidencia-se, então, que mesmo em períodos de máximas pluviométricas, se podem ter problemas de escassez hídrica.

Em abril de 2024 (Figura 2I) houve uma alteração na quantidade de chuva que chegou às regiões mais ao nordeste do Estado, o que criou um sistema ambiental saturado de água, com a continuidade de fortes chuvas, o que compôs os índices pluviométricos vistos em maio de 2024 (Figura 2J), resultando na maior enchente do RS registrada nas séries históricas de precipitação. Em maio de 2024, os maiores totais mensais de precipitação ocorreram na região Centro-norte e Nordeste do Estado, com um máximo de 773 mm em Bento Gonçalves. A enchente de 2024 atingiu 470 municípios do RS, resultou em 600 mil desabrigados e 182 mortes, das quais 31 foram registradas na cidade de Canoas, somado a isso houve um prejuízo econômico de 3,3 bilhões de reais (DEFESA CIVIL, 2024), no município de Rio Grande, foram contabilizadas 750 pessoas alocadas em 10 abrigos geridos pelo município (PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO GRANDE, 2024).

Em junho e julho (Figura 2K e L), observaram-se totais mensais abaixo ou próximos da média e, ao longo desses meses, o evento *El Niño* estava perdendo sua intensidade, com isso, os índices de precipitação registrados foram próximos da normal climática. Contudo, as chuvas, ocorridas na porção Centro-norte e Nordeste do RS, ainda alimentaram e mantiveram as inundações à jusante por semanas, especialmente nos leitos dos rios e porções mais baixas da PCRS.

A distribuição espacial dos eventos extremos de precipitação, entre setembro de 2023 e maio de 2024, estão associadas a sistemas atmosféricos estacionários sobre o RS, que causam a convergência da umidade e a formação das chuvas. Esses sistemas foram responsáveis e receberam umidade de duas fontes, uma de origem oceânica (Atlântico Sul) em latitudes subtropicais e outra continental, oriunda da Amazônia. O evento extremo de setembro teve maior associação aos mecanismos atmosféricos das latitudes médias, já o



**Figura 2.** Distribuição espaço-temporal da precipitação no RS entre agosto de 2023 e julho de 2024 obtido no site do INMET. Dados não consistidos.

Julia Hardt Gomes, Bruno da Silva Telles, Éder Leandro Bayer Maier

evento extremo de maio recebeu contribuições do fluxo de umidade da Amazônia, e por isso a magnitude foi maior (PINAULT, 2023).

A Figura 3 mostra o volume de água da chuva coletada no Rio Grande do Sul, entre agosto de 2023 e julho de 2024, utilizando 30 equipamentos do projeto “Pluviômetro Automático: Coleta, armazenamento e análise geoquímica da água da chuva do Rio Grande do Sul”.

Observando ambos os mapas, podemos compreender que as variações espaciais do regime de chuvas coletadas pelos dois mecanismos possuem uma semelhança nos valores registrados. Logo, entende-se que, em sua espacialidade, os dados possuem uma boa representação, sendo que, de maneira resumida, a metodologia em mm, provenientes do INMET, e a utilizada em ml, oriundos do Pluviômetro, possuem uma boa correspondência. Isso se dá devido ao tamanho do frasco escolhido para o equipamento e pode-se observar que em regiões onde foram registrados altos volumes de precipitação, embora houve o aprisionamento de água na mangueira, ocorreu a perda do volume total.

A depender do local de instalação dos equipamentos, existe o risco de ocorrer diferentes valores de observação, podendo ser identificadas falhas na coleta dos volumes. As falhas são multifatoriais e, devido os pluviômetros serem uma inovação tecnológica em fase de aprimoramento constante, podem apresentar problemas, tais como: entupimento do coletor, furo no frasco de coleta ou mesmo interferência humana. Já os dados coletados pelo INMET, também podem apresentar falhas devido ao mau funcionamento de estações de forma total ou parcial, criando uma dificuldade na coleta e interpretação dos dados.

Para registrar fatos importantes que comprometem as observações do projeto, foi criado um diário, no qual há registros dos principais problemas como, por exemplo: em agosto de 2023 (Figura 3A), em que algumas amostras foram comprometidas em algumas cidades, como: Ametista do Sul, Camaquã, Itaqui e Rio Grande, por exemplo, que foram obtidas amostras não apresentando volume no frasco de coleta, as tornando inviáveis. Já em Uruguaiana houve um provável entupimento na mangueira de coleta, o

que pode ter bloqueado a entrada da amostra para o frasco, porém, as cidades de Dom Pedro de Alcântara, Jaguarão e Panambi apresentaram os frascos cheios.

Em setembro de 2023 (Figura 3B), nas cidades de Dom Pedro de Alcântara, Ibirubá, Mostardas, Passo Fundo, Porto Alegre, Santa Maria e São Gabriel foram apresentados frascos cheios. Já em outubro de 2023 (Figura 3C), as cidades de Camaquã, Cambará, Candiota, Canguçu, Erechim, Santa Vitória, São Borja e Tramandaí apresentaram resultados discrepantes com as localidades próximas e a identificação da causa só será possível com a análise isotópica da mesma. Em novembro de 2023 (Figura 3D), Canguçu apresentou níveis significativamente baixos em relação às cidades do entorno. Em dezembro de 2023 (Figura 3E), as cidades de Encruzilhada do Sul, Erechim, Jaguarão, Mostardas, Porto Alegre, Santa Vitória, São Borja, São José do Ouro e Tramandaí apresentaram variações das cidades ao redor. Em janeiro de 2024 (Figura 3F), não houve casos a relatar. Em fevereiro de 2024 (Figura 3G), nas cidades de Candiota, Canguçu, Mostardas, Passo Fundo, Porto Alegre, Santa Cruz do Sul, Santa Vitória, São Borja e Uruguaiana apresentaram valores que podem alterar a interpretação da distribuição.

No mês de março (Figura 3H), em Cambará, Candiota, Canguçu, Itaqui, Rio Grande e Uruguaiana demonstraram níveis que não se correlacionaram com as cidades próximas. Em abril de 2024 (Figura 3I), Canguçu apresenta um volume baixo em comparação às cidades vizinhas, já em maio de 2024 (Figura 3J), em Jaguarão, Tramandaí e Uruguaiana pode ser observado uma diferença com as cidades próximas. Em junho (Figura 3K), Caxias do Sul pode apresentar uma soma com o mês anterior e não foram identificados problemas em relação ao equipamento, mas as cidades de Candiota, Encruzilhada, Ibirubá, Itaqui, Jaguarão, Rio Grande, Santa Cruz e Santa Vitória, apresentaram valores baixos em relação às cidades próximas. Em julho (Figura 3L), as cidades de Ibirubá, Manoel Viana, Rio Grande, Santa Vitória, São Borja e Vacaria, possuem valores que não se correlacionam com os valores de cidades próximas, sendo necessário os dados isotópicos para a identificação de falhas no equipamento.

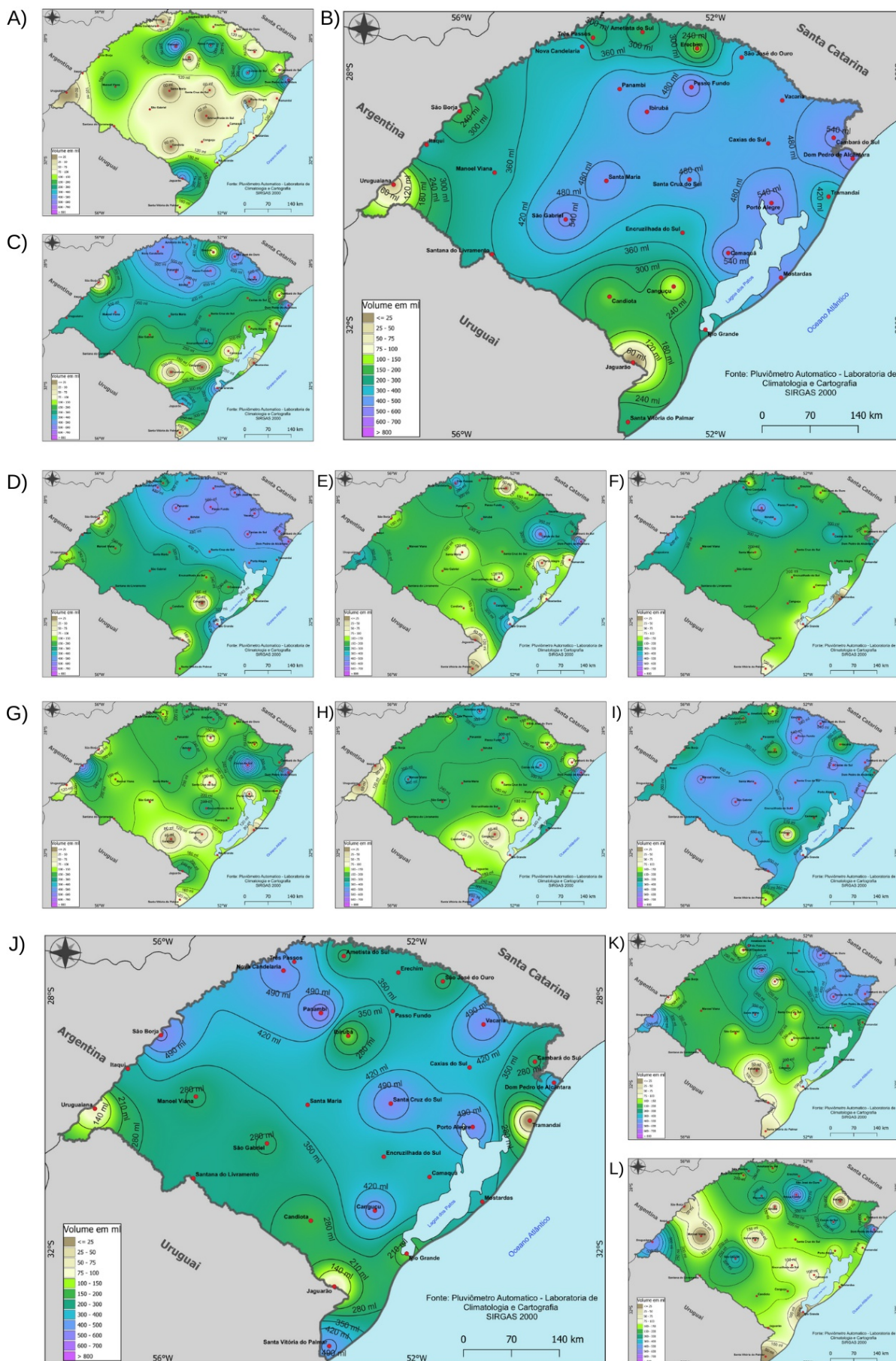


Figura 3. Mapa de distribuição espaço-temporal das chuvas de agosto de 2023 a maio de 2024 segundo o Pluviômetro.

Julia Hardt Gomes, Bruno da Silva Telles, Éder Leandro Bayer Maier

## Evento extremo de precipitação na PCRS e seus desdobramentos

O comportamento das águas das enchentes no Rio Grande do Sul está intimamente relacionado à diversidade geomorfológica presente, a distribuição das bacias hídricas nesse relevo possui características de drenagem heterogêneas. De modo geral, à montante desse sistema, como no Planalto Norte-Rio-Grandense, temos uma rápida elevação das cotas dos rios e, em sua jusante, na Planície Costeira, um acréscimo constante no nível da Laguna dos Patos e o prolongamento da inundação. Em outras palavras, a água precipitada à montante da planície costeira, nos limites da bacia hidrográfica, apresenta uma velocidade de escoamento maior nas porções próximas da cabeceira e do médio curso, quando comparada à velocidade de escoamento no baixo curso dos rios e no sistema de lagos e lagoas da PCRS. Conseqüentemente, nas áreas do baixo curso dos rios e nos lagos e lagoas, ocorre um empilhamento das águas, aumentando seu nível e prolongando no tempo a ocorrência das inundações (FAN et al, 2025).

As recentes avaliações das inundações ocorridas a partir de 24 de abril de 2024, demarcada após as declarações de ECP e SE em várias partes do Estado, como podemos observar na Figura 4, apresentam uma certa complexidade. Há uma concentração dos municípios atingidos, seja próximo aos principais rios, bem como às margens da Laguna dos Patos evidenciando a vulnerabilidade desses municípios frente aos eventos climáticos extremos e vinculando sua proximidade com os cursos d'água. Sendo assim, seja no norte do Estado, no Planalto Norte-Rio-Grandense, como na Planície Costeira, houve desastres em decorrência da elevação dos rios, lago e da laguna, às imediações desses municípios.

Inserir Figura 4: Decretos de Estado de Calamidade Pública (ECP) e de Situação de Emergência (SE) dos municípios gaúchos durante as inundações de maio de 2024.

Na PCRS, devido a sua extensão e diversidade morfológica, foram obtidos, também, diversos municípios em ECP e SE. Em sua porção norte, podemos observar que a declaração ECP e SE tiveram uma forte relação com a inundação

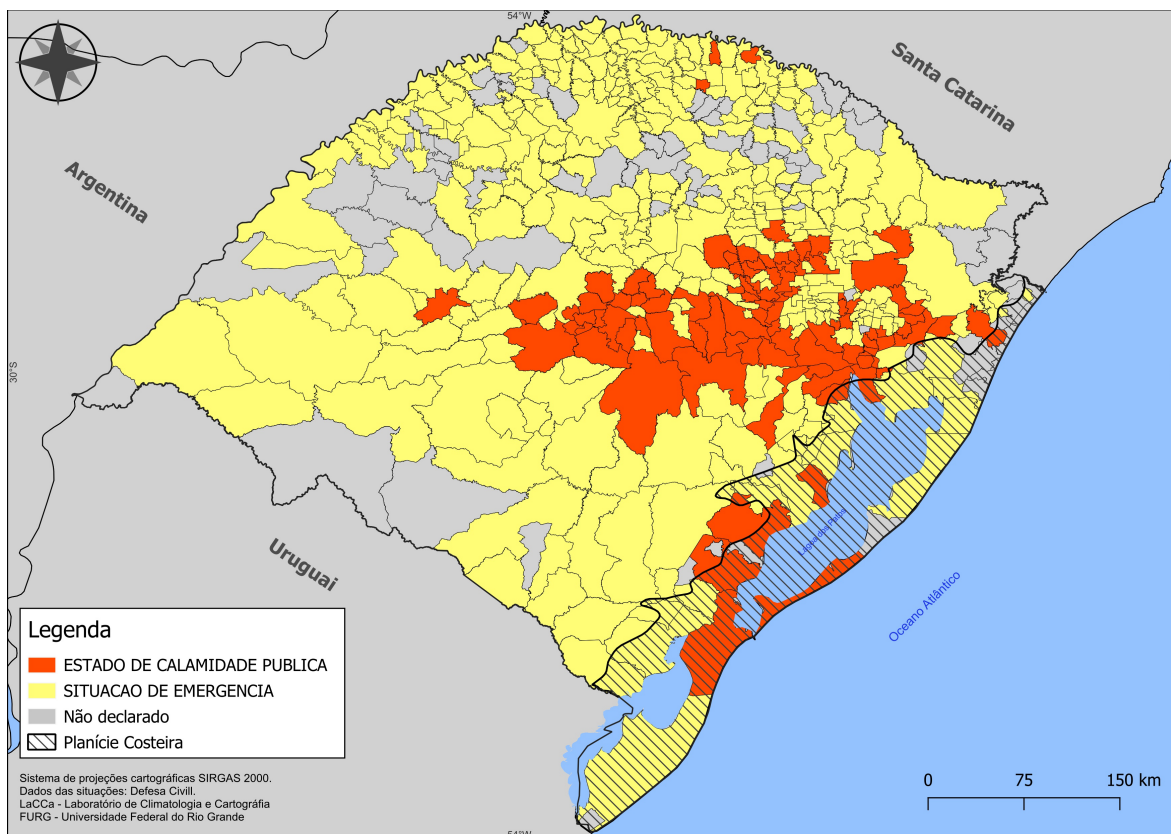
causada pelos rios e subida da lagoa, como, por exemplo, o rio Maquiné-Forqueta, em Maquiné e os rios que compõem o Lago Guaíba, na região metropolitana. Sendo que as fortes chuvas, a saturação dos corpos hídricos e o aumento do nível dos rios, lagos e laguna por um longo período agravaram a situação.

Na parte mais meridional da PCRS, a sobrecarga gerada por todos esses afluentes ocasionou inundações em diversos municípios, com esses declarando, principalmente, ECP. O prolongado deságue na Laguna dos Patos elevou gradualmente o seu nível e ocasionou as inundações na porção sul do Estado, que teve uma permanência de seis semanas. Podemos elencar algumas características das inundações nesta porção da PCRS, como da influência dos ventos, dificultando o escoamento das águas à barra do Rio Grande, ou até de influências astronômicas, como da maré lunar. Logo, essa enchente é considerada uma das maiores inundações que o Estado já vivenciou no período histórico de registros meteorológicos.

Como discorrido anteriormente, as características da inundação na PCRS se diferem do restante observado e isso se deve a sua vasta extensão, onde alguns danos podem ocorrer posteriormente, dentre eles, o transporte de sedimentos que pode gradualmente assorear os lagos e a laguna em alguns pontos mudando sua dinâmica lacustre. Além disso, a contaminação da água da lagoa, derivada das inundações, corroborou com o aparecimento de doenças na população, nos trabalhadores e voluntários que participaram dos resgates. Ao todo, foram confirmados 32 casos de leptospirose no município de Rio Grande, segundo o boletim epidemiológico da prefeitura do município disponibilizado em agosto de 2024 (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO GRANDE, 2024).

## CONCLUSÕES

Evidencia-se a necessária continuidade dos estudos e da coleta dos dados climatológicos. Os eventos extremos ocorridos no Rio Grande do Sul e em sua porção costeira, a PCRS, são resultados de alterações climáticas que poderão ser, cada vez mais, observadas em menores períodos. Conforme



**Figura 4.** Mapa de distribuição espaço-temporal das chuvas de agosto de 2023 a maio de 2024 segundo o Pluviômetro.

o relatório realizado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) “até 2030 mostram que a temperatura aumentará em 1,5 °C na primeira metade da década de 2030, e será muito difícil controlar o aumento da temperatura dentro de 2,0 °C até o final do século XXI.” (IPCC, 2023). Sendo assim, práticas de resiliência Climática e de adaptação a essas mudanças são necessárias, portanto, a preparação das cidades, visando mitigar esses impactos e a criação de políticas públicas específicas são de extrema relevância.

A compreensão do clima, a busca pela melhora do entendimento e dos mecanismos que o compõem, coadunados à busca pelo aperfeiçoamento dos sistemas de previsão, são esforços necessários que a sociedade deve buscar para melhora da qualidade de vida. A exemplo, o presente estudo busca uma melhoria nos sistemas de previsibilidade climática, isso é possível graças a inovações tecnológicas e aos órgãos de Estado que fomentam a pesquisa científica. Como resultado, a criação de uma malha isotópica, acrescenta à ciência climática uma importante variável a ser compreendida e correlacionada com

os sistemas que transportam as massas de ar.

Aponta-se que aprimorar os sistemas de coleta de dados das precipitações que ocorrem no estado, seja pelo INMET ou por projetos vinculados a instituições de ensino, é uma importante tarefa para a contínua informação. Esses dados criam uma base que auxilia na análise dos padrões de chuvas e identifica os eventos climáticos extremos que podem ocasionar inundações. Além disso, quando mapeamos a espacialidade dessas precipitações e relacionamos com as formações morfológicas e características das localidades, identificam-se regiões com uma maior vulnerabilidade para a ocorrência de desastres.

A utilização de um ferramental disposto à ciência geográfica, como os softwares no processamento de dados, abre novas possibilidades para o detalhamento e demarcação de áreas de risco, sendo que, quando mapeados os municípios estudados e que decretaram SE ou ECP, é revelado uma vulnerabilidade quanto a essa situação. Estudos mais aprofundados podem ser criados para áreas vulneráveis à ocorrência de eventos extremos e sua identificação segue a lógica de zoneamentos

de áreas mais ou menos vulneráveis a habitação, por exemplo.

Por fim a importante continuidade da coleta de dados e construção de novos mapas de distribuição espaço-temporal das precipitações do Estado permitem uma melhor preparação para futuros eventos de inundações, garantindo, à comunidade presente, uma preparação frente aos por vindouros desafios climáticos que se mostram cada vez mais presentes. Sendo assim, é essencial o gerenciamento dos riscos de inundação que afetam a PCRS.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), por financiar a pesquisa. À Universidade Federal do Rio Grande (FURG), por também contribuir com a pesquisa e ser a plataforma material direta em que estamos inseridos.

Durante a execução do projeto “Pluviômetro Automático: Coleta, armazenamento e análise geoquímica da água da chuva do Rio Grande do Sul”, tivemos a especial e essencial colaboração da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio Grande do Sul (EMATER-RS), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Instituto Federal Farroupilha Campus Panambi, Faculdade de Passo Fundo (IDEAU), Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), EEEM Jerônimo Mércio da Silveira de Candiota, Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) e do Parque Nacional da Lagoa do Peixe de Mostardas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; ROSA, Ma. L. C. da C. 2009. Planície costeira do Rio Grande do Sul: erosão em longo período. *Revista SUG*, n. 15, p. 94-97. Sociedade Uruguaya de Geología.

BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento). 2024. Avaliação dos efeitos e impactos das inundações no Rio Grande do Sul. Relatório do

Banco Interamericano de Desenvolvimento. 306 p. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/pt/avaliacao-dos-efeitos-e-impactos-das-inundacoes-no-rio-grande-do-sul>>. Acesso: 12 mar. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. 2024. Balanço das chuvas no Rio Grande do Sul aponta para R\$12,2 bilhões em prejuízos financeiros. CNM. Disponível em: <<https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/balanco-das-chuvas-no-rio-grande-sul-aponta-para-r-12-2-bilhoes-em-prejuizos-financeiros>>. Acesso: 16 fev. 2025.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. 2024. Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS-30/5, 18h. Disponível em: <<https://www.estado.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-30-5-18h>>. Acesso: 27 jan. 2025.

FAN, Fernando Mainardi; COLLISCHON, Walter; PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de; RUHOFF, Anderson. 2025. A cheia de 2024 no Rio Grande do Sul. In: FERRER, João; DANÉRIS, Marcelo; ROMERO, Pedro (org.). *Resiliência & Sustentabilidade: RS, Reflexões para a reconstrução do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Libretos. p. 47-63.

GAÚCHA ZERO HORA (GZH). 2024. RS tem meio milhão de migrantes climáticos em razão da enchente. Entenda o que é isso. Gauchazh. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2024/05/rs-tem-meio-milhao-de-migrantes-climaticos-em-razao-da-enchente-entenda-o-que-e-isso-clw9w0yia00b0014e3vek6cxp.html>. Acesso: 27 fev. 2025.

GRIMM, A. M. 2009. Tempo e Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; JUSTI DA SILVA, M. G. A. (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos. p. 274.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). 2023. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Mapa de Estações. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso: 05 mar. 2025.

\_\_\_\_\_. Portal on-line. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso: 05 mar. 2025.

IPCC. 2023. Summary for policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee e J. Romero (eds.)]. Genebra: IPCC. p. 1-34. [https://doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001).

PINAULT, J. L. 2023, Extreme Heavy Rainfall Events at Mid-Latitudes as the Outcome of a Slow Quasi-Resonant Ocean—Atmosphere Interaction: 10 Case Studies. *J. Mar. Sci. Eng.* 11, 359. <https://doi.org/10.3390/jmse11020359>

Prefeitura Municipal de Rio Grande. “Portal.” *Rs.gov.br*, 2024, < [www2.riogrande.rs.gov.br/noticia/35152/35152?](http://www2.riogrande.rs.gov.br/noticia/35152/35152?)

titulo=56+pessoas+permanecem+em+abrigos+municipais+ap%C3%B3s+enchentes+em+Rio+Grande. > Acesso: 01 Mar. 2025.

\_\_\_\_\_. “Portal.” *Rs.gov.br*, 2024 <<https://www2.riogrande.rs.gov.br/noticia/35307/35307?>

titulo=Sa%C3%Bade+divulga+%C3%BAltimo+boletim+semanal+sobre+Leptospirose >. Acesso: 17 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Defesa Civil. Lista de Municípios Atingidos pelas Chuvas - 18/12/2024. Disponível em: <https://sosenchentes.rs.gov.br/upload/arquivos/202407/29170747-lista-municipios-afetadas-chuvas-10-06-2024-1.pdf>.

Acesso em: 16 fev. 2025.

ROSSATO, Máira Suertegaray. Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia. Porto Alegre: UFRGS/PPGEA, 2011. 240 f. il.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em: 11 mar. 2025.